

55807

# közlemények

22/1979

55807

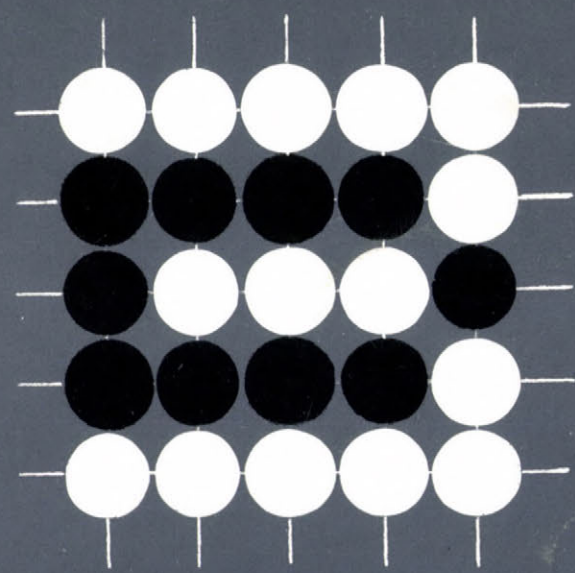
1979

TA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet

Budapest



1979 SEP 2 8





55807

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

KÖZLEMÉNYEK

ISBN 963 311 077 7  
ISSN 0133-7459

1979. JANUÁR

Szerkesztőbizottság:

**GERTLER JÁNOS** (felelős szerkesztő)

**DEMETROVICS JÁNOS** (titkár)

**BACH IVÁN, GEHÉR ISTVÁN, GERGELY JÓZSEF,  
KERESZTÉLY SÁNDOR, KRÁMLI ANDRÁS, KNUTH ELŐD,  
PRÉKOPA ANDRÁS,**

Felelős kiadó:

**DR VÁMOS TIBOR**

igazgató

5-й советско-венгерский семинар по теме  
"Применение ЭВМ в разработке пневматических  
элементов и систем управления"  
Будапешт, сентябрь 1977 г.

V. Szovjet-magyar szeminárium a "Számítógépek alkalmazása a  
pneumatikus elemek és irányítási rendszerek kidolgozásában" c. témában  
Budapest, 1977. szept.

Technikai szerkesztő:

Solt Jánosné



## TARTALOMJEGYZÉK

Jugickij C.A., Efremova T.K., Tagaevszkaja A.A.:	
Ciklikus automaták működési algoritmusának tervezési módszere . . . . .	5
Ivanov N.N., Sevcsenko B.C.:	
Az irányított berendezések memóriatulajdonságának felhasználása a vezérlő be- rendezés memóriaegységének minimalizálására . . . . .	19
Rudnyev V.V., Berendsz T.K.:	
A strukturálisan hierarchikus módszer előnyei operativan programozható diszkrét vezérlő berendezések építésénél. . . . .	29
Helm L., Sas G., Szűcs A., Zalán F.:	
Ideális relékarakterisztikájú szelepkombináció . . . . .	41
Gerencsér Piroska:	
Normálnyomású pneumatikus logikai rendszerek tápenergiaellátása. . . . .	55
Limanova M.E., CsernüseV V.I.:	
Pneumatikus jelátvitel távvezetékeken . . . . .	73
Zalmanzon L.A.:	
Sztochasztikus elemek használata a fluid technikában és statisztikus módszerek alkal- mazása fluid berendezések dinamikus vizsgálatánál . . . . .	79
Berendsz T.K., Tal A.A., Gerencsér P., Szép E.:	
Közös találmányok helyzete és a soronlevő feladatok kijelölése . . . . .	103
Palkó Gy. Bulcsú:	
Programcsomag alapmátrix száítására . . . . .	105

## СОДЕРЖАНИЕ

Юдицкий С.А., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А.:	
Проектирование алгоритмов функционирования циклических автоматов .....	5
Иванов Н.Н., Шевченко Б.С.:	
Использование памяти объектов управления в целях минимизации блока памяти управляющих устройств .....	19
Руднев В.В., Берендс Т.К.:	
Преимущества структурной иерархии при построении оперативно-программируемых дискретных управляющих устройств .....	29
Хельм Л., Шаш Г., Сюч А., Залан Ф.:	
Комбинация клапанов с реле идеальной характеристики .	41
Геренчер Пирошка:	
Вопросы энергопитания пневматических логических устройств нормального давления .....	55
Лимонова М.Е., Чернышев В.И.:	
Передача пневматических сигналов по проводам линий связи .....	73
Залманзон Л.А.:	
Вопросы применения в струйной автоматике стохас- тических элементов и использования статических мето- дов при исследовании динамики струйных устройств ...	79
Берендс Т.К., Таль А.А., Геренчер П., Сэп Э.:	
Положение совместных изобретений и намерение очередных задач .....	103
Палко Дь. Булчу:	
Применение пакетов программ для вычисления матриц дифференциальных уравнений .....	105

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ АВТОМАТОВ

Юдицкий С.А., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А.

## 1. Введение

Управление технологическими процессами дискретного или, как их еще принято называть, циклического типа осуществляется по схеме, представленной на рис. 1., состоящей из объекта управления и управляющего автомата.

Объект характеризуется совокупностью технологических параметров, таких как линейное либо угловое перемещение рабочих органов машин, уровень жидкости в резервуарах, температура, давление. Воздействие на параметры осуществляется при помощи исполнительных механизмов, контроль значений параметров производится датчиками. Каждому параметру сопоставляется узел объекта, входные каналы исполнительных механизмов принимаются за вход узла, выходные сигналы датчиков - за его выход. Вводится ограничение, согласно которому параметры взаимно независимы: изменение любого параметра происходит только вследствие воздействия на вход соответствующего узла и не зависит от изменения других параметров.

Поведение узла может быть описано в виде графа, вершины которого сопоставлены с участками на области изменения параметра и отмечены набором выходных сигналов датчиков, а ребра отмечены наборами значений входных сигналов исполнительных механизмов. Особенностью графа поведения узла является то, что из каждой вершины возможен переход не более чем в две вершины, соответствующие соседним участкам на области измерения параметра. Модель объекта представляется в виде набора таких графов - рис. 2.



Реализуемый в объекте процесс представляет собой последовательно элементарных шагов /элементарных операций/. Переход к каждой элементарной операции осуществляется при изменении значений входных переменных объектов  $z_{i1} \dots z_{ip}$ , где  $i_1 \dots i_p \in N = \{1, \dots, n\}$ , набор этих переменных остается неизменным до окончания операции. Элементарная операция характеризуется конъюнкцией  $\underline{z}_i = \underline{z}_{i1} \dots \underline{z}_{ip}$ , принимающей единичное значение только на этом наборе и называемой воздействием, и реакцией на выходе объекта, которой он отвечает на воздействие. /Знак  $\sim$  означает, что переменная входит со знаком отрицания, либо без него/. В докладе мы ограничимся случаем, довольно распространенным, когда реакция описывается булевой функцией  $\underline{x}_i = \underline{x}_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)$ , принимающей единичное значение только в момент завершения элементарной операции.

Таким образом, элементарная операция характеризуется парой "воздействие-реакция", составленной из двух булевых функций  $A_i = \langle \underline{z}_i, \underline{x}_i \rangle$ , и является формальным понятием. Переход от одной элементарной операции  $A_i$  к другой  $A_j$  происходит при появлении реакции  $\underline{x}_i$  при заданных значениях "внешний" сигнал  $y_1, \dots, y_k$ . Булевые функции  $\underline{y}_h = \underline{y}_h\{\bar{y}_1 \dots \bar{y}_k\}$ , применяющие единичное значение только на этих заданных значениях внешних сигналов, будем называть блокировками.

Циклический автомат на основании реакции  $\underline{x}_i$  и блокировки  $\underline{y}_h$  формирует воздействия  $\underline{z}_{i+1}$ . Проектирование системы управления заключается в построении циклического автомата, обеспечивающего выполнение объектом заданной последовательности элементарных операций. Циклический автомат может быть реализован либо аппаратно в виде соответствующего устройства, либо в виде программы, вводимой в микрокомпьютер, командоконтроллер и т.д.

При проектировании циклического автомата возникают две основные проблемы - составление формализованного описания алгоритма функционирования циклического автомата и перехода от описания алгоритма к описанию структуры /к программе/.



Вторую проблему применительно к стандартной аппаратной реализации на базе так называемой позиционной структуры [1, 2] мы неоднократно рассматривали как на совместной Советско-Венгерских Семинарах, так и в публикациях.

В данном докладе упор делается на составление описания алгоритма с возможностью последующей как аппаратной, так и программной реализации. Традиционный подход к этому вопросу заключается в том, что исчерпывающее описание алгоритма функционирования дается в содержательной форме специалистом по объекту, называемым "заказчик", в виде технического задания, которое далее трансформируется в описание на формальном языке /в виде конечного автомата, графа-схемы либо логической схемы алгоритма и т.д./.

Однако на практике описание алгоритма функционирования рождается лишь в результате кропотливой совместной работы "заказчика" со специалистом по управлению /"исполнителем"/. Трудность самостоятельной разработки "заказчиком" алгоритма объясняется как его недостаточной осведомленностью в вопросах управления, так и тем обстоятельством, что "заказчик" мыслит технологическими понятиями, весьма далекими от формальных конструкций, заложенных в алгоритмических языках.

Фактически, составление алгоритма функционирования циклического автомата можно рассматривать как результат применения некоторой методики и говорить о проектировании алгоритма /об алгоритмическом проектировании циклического автомата/.

Нами предпринята попытка разработки формализованной методики алгоритмического проектирования, изложению основ которой и посвящен данный доклад.

## 2. Задание на алгоритмическое проектирование

Заданием на алгоритмическое проектирование служат:

а/ принципиальная технологическая схема объекта, на которой изображаются все исполнительные механизмы, воздействующие

на технологические параметры; датчики, контролирующие значения параметров, и связи, существующие между исполнительными механизмами и датчиками.

Принципиальная технологическая схема может быть описана моделью объекта - набором графов поведения узлов, соответствующих технологическим параметрам. На рис. 2а показана технологическая схема, состоящая из двух пневматических цилиндров  $U_1$  и  $U_2$  с пружинным возвратом. Крайние положения штока каждого из цилиндров контролируются конечными переключателями. Эта схема описывается двумя графами, приведенными на рис. 2б.

б/ Перечень информационных каналов системы управления, к которым относятся выходные каналы объекта  $x_1 \dots x_m$ , входные каналы объекта  $z_1 \dots z_n$ , внешние каналы  $y_1 \dots y_k$ .

В нашем примере выходные каналы объекта  $x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}$ , входные -  $z_1, z_2$ , внешние каналы:  
 $y_1$  - пуск цикла,  $y_2$  - выбор программы отвода цилиндров в цикле,  $y_3$  - выдвижение цилиндра  $U_1$  в наладочном режиме,  $y_4$  - тоже для цилиндра  $U_2$ ,  $y_5$  - переход на наладочный режим,  $y_6$  - останов объекта в положении текущей операции,  $y_7$  - отвод объекта из положения текущей операции в исходное состояние.

в/ Диалогический граф технологических операций. Понятие технологической операции не формализовано и может трактоваться очень широко. Применительно к рассматриваемому нами объекту, состоящему из цилиндров  $U_1, U_2$  примем за технологические операции следующие действия:

- $A_0$  - оба цилиндра находятся в исходном положении /штоки убраны/
- $A_1$  - вначале выдвигается  $U_1$ , затем отводится  $U_1$  ( $U_1 + U_1 -$ )
- $A_2$  - вначале выдвигается  $U_2$ , затем отводится  $U_2$  ( $U_2 + U_2 -$ )
- $A_3$  - выдвигается одновременно  $U_1$  и  $U_2$  ( $U_1, U_2 +$ )
- $A_4$  - отводится вначале  $U_1$ , затем  $U_2$  ( $U_1 - U_2 -$ )
- $A_5$  - отводится вначале  $U_2$  затем  $U_1$  ( $U_2 - U_1 -$ )

Диалогический граф [3], отражающий последовательность технологических операций, приведен на рис. 3. Вершины графа по-



ставлены во взаимно-однозначное соответствие технологическим операциям, ребра отмечены блокировками.

Между ребрами диалогического графа, выходящими из одной вершины либо входящими в одну вершину, установлены два вида бинарных отношений - отношение конъюнктивности либо отношение альтернативности. Ребра, находящиеся в отношении конъюнктивности, соединяются между собой линией и, если они отмечены блокировками, то им приписывается одна и та же булева функция  $\bar{y}_h (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_k)$ . На рис. 3 в отношении конъюнктивности находятся ребра  $A_0 A_1$  и  $A_0 A_2$ , выходящие из  $A_0$ , и ребра  $A_1 A_3$  и  $A_2 A_3$ , входящие в  $A_3$ .

Находящиеся в отношении альтернативности ребра, входящие в одну вершину, могут быть отмечены произвольными блокировками, но выходящие из одной вершины отмечаются блокировками  $y_{h1}$  и  $y_{h2}$ , где  $y_{h1} \cdot y_{h2} = 0$ .

Пример альтернативных ребер  $A_4 A_0$  и  $A_5 A_0$ ,  $A_3 A_4$  и  $A_3 A_5$ , причем последние отмечены блокировками  $y_2, \bar{y}_2$  ( $y_2 \cdot \bar{y}_2 = 0$ ). Принадлежность ребер тому или иному виду отношений определяет и способ чтения графа.

Пусть в исходном состоянии в вершину  $A_0$  перемещена точка. При появлении сигнала  $y_1$  точка переходит по находящимся в отношении конъюнктивности ребрам  $A_0 A_1$  и  $A_0 A_2$  сразу в две вершины  $A_1$  и  $A_2$ . Будем говорить, что вершина  $A_0$  "гасится", в вершины  $A_1$  и  $A_2$  "возбуждаются". Далее, когда будут закончены технологические операции для вершин  $A_1$  и  $A_2$ , точки из них переходят в вершину  $A_3$ .

Если завершится операция для вершины  $A_3$  и появится условие  $y_2$ , то точка из  $A_3$  перейдет в вершину  $A_4$ ; если же появится  $\bar{y}_2$ , то в вершину  $A_5$  и т.д. Особенностью ребер, находящихся в отношении конъюнктивности является то, что точка по всем этим ребрам переходит одновременно.

Если ребра находятся в отношении альтернативности, то точка переходит только по одному из них. Описание алгоритма функционирования циклического автомата состоит из трех частей: описания режима нормальной работы, описание прерываний режима нормальной работы и описания наладочного режима. Эти описания составляются последовательно на основе приведенного выше задания и излагаемой далее методики алгоритмического проектирования.

### 3. Составление описания нормальной работы циклического автомата

Режим нормальной работы характеризуется некоторой последовательностью элементарных операций, которая определяется по приведенному в задании диалогическому графу путем разложения технологических операций, соответствующих его вершинам, на элементарные составляющие. Каждая исходная /указанная в задании/ технологическая операция является либо элементарной, либо сама представляет собой последовательность элементарных операций. Изобразим исходные технологические операции в виде графов так, как это показано на рис. 4. Каждой элементарной операции ставится во взаимнооднозначное соответствие вершина и выходящее из нее ребро; вершина отмечается воздействием  $Z_i$ , и ребро-реакцией  $\underline{X}_i = \underline{X}_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)$ . Элементарные операции, соответствующие исходной технологической операции  $A_i$  обозначаются через  $A_{i,j}$ , где  $j \in P = \{1, \dots, \bar{p}\}$ . Для непосредственно следующих друг за другом элементарных операций  $A_{i,j}$  и  $A_{i,j+1}$  ребро, выходящее из вершины  $A_{i,j}$ , входит в вершину  $A_{i,j+1}$ . Ребро, выходящее из последней вершины  $A_{i,p}$ , не входит ни в одну вершину.

В нашем примере исходные технологические операции  $A_0$  и  $A_3$  являются элементарными, остальные состоят из двух элементарных операций. Воздействия  $Z_i$  и реакции  $X_i$  для элементарных операций определяются по модели объекта /рис. 2/.



Описание нормальной работы циклического автомата может быть дано либо в виде единого диалогического графа элементарных операций, либо в виде двух иерархических уровней, где верхний уровень соответствует исходным технологическим операциям, а нижний уровень представляет собой совокупность графов, раскрывающих исходные операции через элементарные. Указанные два вида описания будем называть соответственно одноуровневым и двухуровневым.

#### а/ Составление одноуровневого описания

На основе указанного в задании графа технологических операций построим новый граф следующим образом. Каждую вершину  $A_i$ , соответствующую исходной технологической операции, заменим раскрывающим ее графом элементарных операций /рис. 4/. Если ребро, выходящее из последней вершины  $A_{i,p}$  графа элементарных операций отмечено реакцией  $x_i (x_1, \dots, x_m)$ , а ребро, выходящее на исходном графе из вершины  $A_i$  и входящее в  $A_j$ , отмечено блокировкой  $y_h (y_1 \dots y_k)$ , то в полученном графе на ребре, выходящем из вершины  $A_{i,p}$  и входящем в вершину  $A_{j,1}$ , записываем конъюнкцию  $x_i \cdot y_h$ .

В нашем примере получаем граф, представленные на рис. 5. Так как ребро, выходящее на рис. 4 из вершины  $A_0$ , отмечено реакцией  $x_{11} x_{21}$ , а ребро, выходящее из той же вершины на рис. 3 отмечено блокировкой  $y_1$ , то ребра  $A_0 A_{1.1}$  и  $A_0 A_{2.1}$  на рис. 5 отмечаем конъюнкцией  $x_{11} x_{21} y_1$ . На ребрах, выходящих на рис. 4 из вершин  $A_{1.2}$  и  $A_{2.2}$  указаны соответственно реакции  $x_{11}$  и  $x_{21}$ . На графе, приведенном на рис. 5, им соответствуют ребра  $A_{1.2} A_3$   $A_{2.2} A_3$ , находящиеся в отношении конъюнктивности. Эти ребра отмечаем конъюнкцией реакции  $x_{11} x_{21}$ .

#### б/ Составление двухуровневого описания

В каждый граф элементарных операций /рис. 4/, раскрывающий исходную операцию  $A_i$  и содержащий более одной вершины, вводим начальную вершину  $A_{i,0}$ . В вершину  $A_{i,0}$  заводим ребро, выходящее из последней вершины  $A_{i,p}$ , а из  $A_{i,0}$  прово-

дим ребро в  $A_{i,1}$ . Если вершины  $A_{i,1} \dots A_{i,p}$  отмечены воздействиями, в которых присутствуют переменные  $\bar{z}_{i1} \dots \bar{z}_{iq}$ , которое соответствует элементарным операциям, непосредственно предшествующим  $A_{i,1}$ . Полученные графы для исходных технологических операций  $A_1, A_2, A_4, A_5$ , состоящих из двух элементарных операций, приведены на рис. 6. Они составляют нижний уровень описания. Вершина  $A_{1,0}$  отмечена воздействием  $\bar{z}_1$ , т.к. элементарная операция  $A_{i,1}$  непосредственно следует за  $A_0$ , для которой имеет место воздействие  $\bar{z}_1 \bar{z}_2$ . По аналогичной причине вершина  $A_{2,0}$  отмечается воздействием  $\bar{z}_2$ . Вершины  $A_{4,0}$  и  $A_{5,0}$  отмечены воздействием  $z_1 z_2$ , т.к. элементарные операции  $A_{4,1}$  и  $A_{5,1}$  следуют за  $A_3$ , для которой характерно это воздействие.

Верхний уровень описания /рис. 6/ совпадает с графом технологических операций, приведенным в задании. Вершины  $A_0$  и  $A_3$  в нем, которые соответствуют элементарным операциям, дополнительно отмечаем воздействиями  $(\bar{z}_1 \bar{z}_2, z_1 z_2)$ .

Для координации уровней на ребра графов наносятся дополнительные блокировки, в которых присутствуют обозначения вершин других графов. На ребрах, выходящих в графе верхнего уровня на рис. 6 из вершин  $A_0$ , записана блокировка, описываемая конъюнкцией  $y_1 A_{1,0} A_{2,0} A_{4,0} A_{5,0}$ . Она означает, что переход в верхний уровень из вершины  $A_0$  в вершины  $A_1$  и  $A_2$  происходит по сигналу  $y_1$ , при условии, что все графы нижнего уровня находятся в начальных вершинах. Ребра  $A_{1,0} A_{1,1}$  и  $A_{2,0} A_{2,1}$  в графах нижнего уровня отмечены блокировками  $A_1$  и  $A_2$ . Следовательно, возбуждение вершин  $A_1, A_2$  вызывает переходы  $A_{1,0} \rightarrow A_{1,1}$  и  $A_{2,0} \rightarrow A_{2,1}$  в нижнем уровне и является условием следующих за ними переходов  $A_{1,1} \rightarrow A_{1,2}$  и  $A_{2,1} \rightarrow A_{2,2}$ . Возбуждение вершин  $A_{1,2}$  и  $A_{2,2}$  в нижнем уровне вызывает переход из вершин  $A_1, A_2$  в вершину  $A_3$  в верхнем уровне и т.д.



#### 4. Составление описаний прерывания нормальной работы и наладочного режима

Прерывание нормальной работы циклического автомата происходит при появлении так называемых нерегулярных ситуаций, таких как: аварийный отвод, стоп, переход на наладку и др. Нерегулярные ситуации могут быть отнесены к числу случайных ввиду возможности их возникновения в любой момент времени. Появление нерегулярной ситуации вызывает прерывание определенной выше последовательности технологических операций и в зависимости от типа нерегулярной ситуации происходит либо остановка системы в положении текущей операции, либо перевод ее в некоторое, в частном случае исходное положение за один либо несколько шагов с обязательной остановкой в конце перехода. Запуск системы после прерывания всегда производится человеком-оператором. В наладочном режиме человек-оператор с помощью органов ручного управления, установленных на пульте, воздействует на отдельные исполнительные механизмы объекта в произвольной последовательности.

Дадим описание наладочного режима и прерываний для случая одноуровневого описания нормальной работы /рис. 5/. Для описания наладочного режима графа операций для режима нормальной работы дополняется специальной вершиной  $A_H$ , которая охватывается петлями, отмеченными надписями вида  $\underline{P}_i \vdash \bar{Z}_j$ . Такие надписи, называемые секвенциями [4], означают, что появление условия  $P_i$  является причиной воздействия  $Z_j$ . В нашем случае условие  $P_i$  описывается булевой функцией  $P_i = P_i(x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_k)$

В рассматриваемом примере цилиндр  $U_1$  выдвигается при наличии сигнала  $y_3$  и сигнала  $x_{21}$ , свидетельствующего о том, что цилиндр  $U_2$  находится в исходном положении. Цилиндр  $U_2$  выдвигается только по сигналу  $y_4$ . Вершина  $A_H$  для наладочного режима охвачена петлей, отмеченной секвенциями  $y_3 x_{21} \vdash Z_1$ ,  $y_4 \vdash Z_2$ .

Одним из видов прерывания режима нормальной работы является переход на наладочный режим, который осуществляется из положения любой операции  $A_i$  по сигналу  $y_5$ . При этом должно сохраняться то воздействие на объект  $Z_i$ , которое было при выполнении операции  $A_i$ . Для изображения перехода на наладочный режим мы должны были бы из каждой вершины  $A_i$  провести ребро в вершину  $A_H$ , и отметить его секвенцией  $y_5 \vdash Z_i$ . Во избежание загромождения графа эти ребра на него наносить не будем, а опишем их формулой исчисления предикатов

$$\forall_i (A_i \rightarrow A_H)(y_5 \vdash Z_i)$$

где  $(A_i \rightarrow A_H)$ ,  $(y_5 \vdash Z_i)$  - обозначение логических переменных, истинность либо ложность которых зависит от значения  $i \in \underline{s} = \{0, 1, \dots, \bar{s}\}$ .

Нормальная работа системы может быть прервана в положении любой операции при появлении сигнала  $y_6$  и возобновляться из этой же операции при исчезновении  $y_6$ . Для описания такой нерегулярной ситуации следовало бы каждое ребро  $A_i A_j$ , отмеченное на графе условием  $Q_{i,j}$ , отметить новым условием  $Q_{i,j} \cdot \bar{y}_6$ .

Вместо этого, с целью упрощения графа, оставим на каждом ребре прежнее условие  $Q_{i,j}$ , но введем дополнительно формулу исчисления предикатов

$$\forall_{i,j} (A_i \rightarrow A_j) \cdot Q_{i,j} \bar{y}_6, \quad i, j \in \underline{s} = \{0, 1, \dots, \bar{s}\},$$

в которой логическая переменная  $(A_i \rightarrow A_j)$  истина лишь для тех  $i, j$ , которым соответствует ребро на графе.

Следующим типовым примером прерывания нормальной работы служит переход из любой вершины  $A_i$  в начальную вершину  $A_0$  при появлении сигнала  $y_7$  /аварийный отвод/. Эта ситуация может быть описана формулой исчисления предикатов

$$\forall_i (A_i \rightarrow A_0) \cdot y_7$$

Таким образом, учет прерываний нормальной работы и наладочного осуществляется путем введения ряда формул с кванторами общно -



сти, а также наладочной вершины, охваченной "петлями", отмеченными секвенциями. Алгоритм функционирования циклического автомата описывается диалогическим графом элементарных операций, дополненным этими формулами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юдицкий С.А.: К синтезу микропрограммных управляющих устройств.  
В сб. "Пневматика", М., Наука, 1972.
2. Юдицкий С.А., Бернес Т.К., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А.:  
Построение устройств управления циклическими процессами на базе стандартной позиционной структуры. Дискретные системы, том 5, Международный Симпозиум, Рига, 1974.
3. Юдицкий С.А., Тагаевская А.А., Ефремова Т.К.: Язык алгоритмического проектирования управляющих дискретных устройств.  
Институт проблем управления, М., 1977.
4. Захаров В.Н. : Автоматы с распределенной памятью.  
"Энергия", М., 1975.

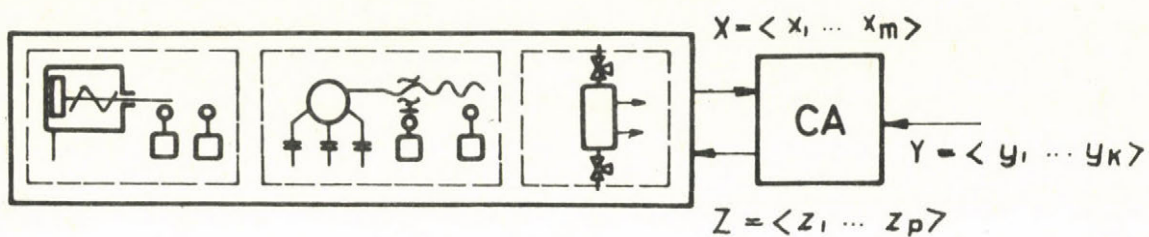


Рис 1

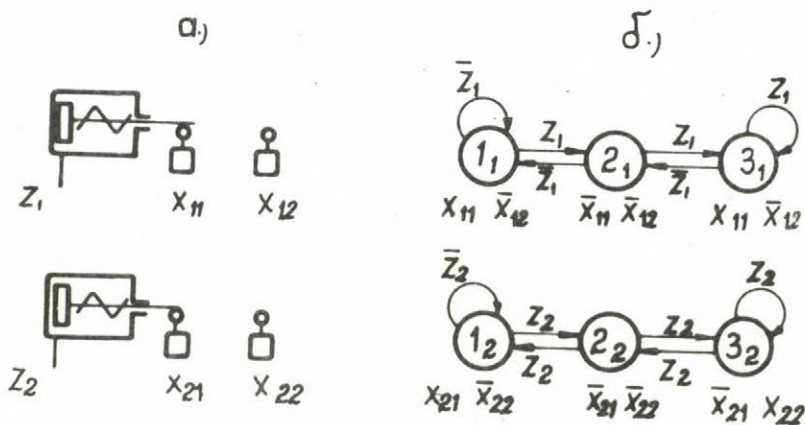
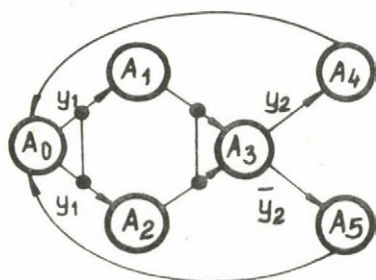


Рис 2



$A_0$  - исх. положение  
 $A_1 : U_1 + U_1 - i$     $A_2 = U_2 + U_2 - i$   
 $A_3 : (U_1 U_2) + i$     $A_4 = U_1 - U_2 - i$   
 $A_5 = U_2 - U_1 -$

Рис 3

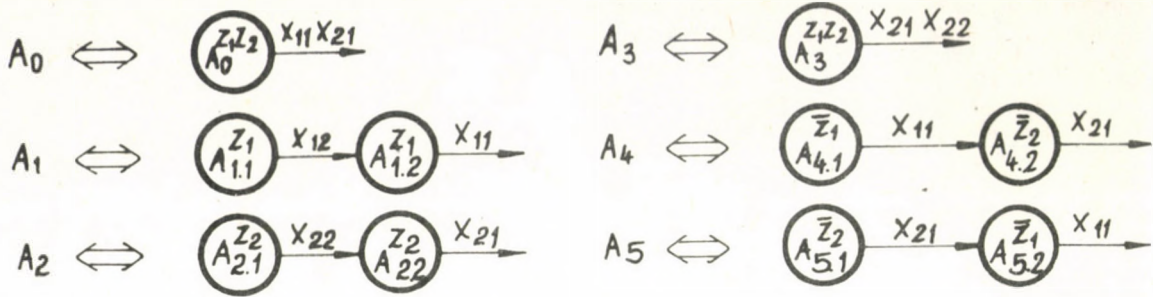
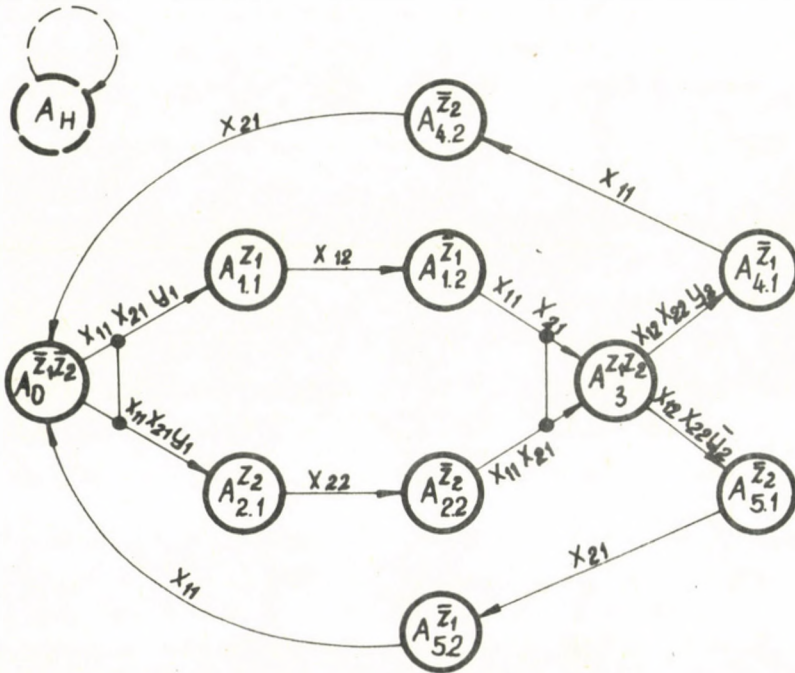


Рис 4

$\vdash y_3 x_{21} \vdash Z_1, y_4 \vdash Z_2$



$\forall i (A_i \rightarrow A_H) \cdot (y_5 \vdash Z_i)$

$\forall i (A_i \rightarrow A_j) \cdot (Q_{ij} \cdot \bar{y}_6)$

$\forall i (A_i \rightarrow A_0) \cdot y_7$

$i, j \in S = \{0, 1, \dots, 5\}$

Рис 5



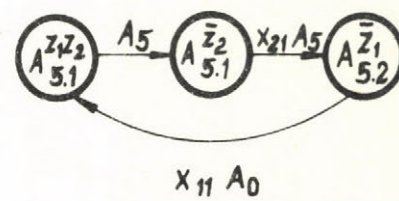
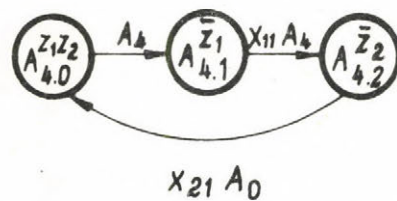
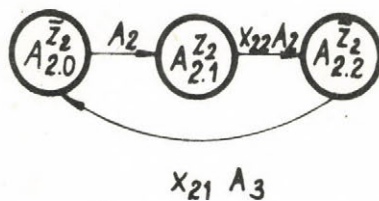
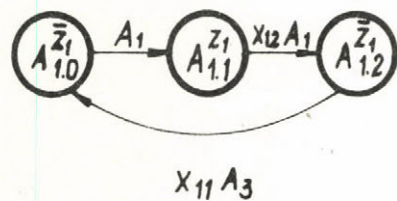
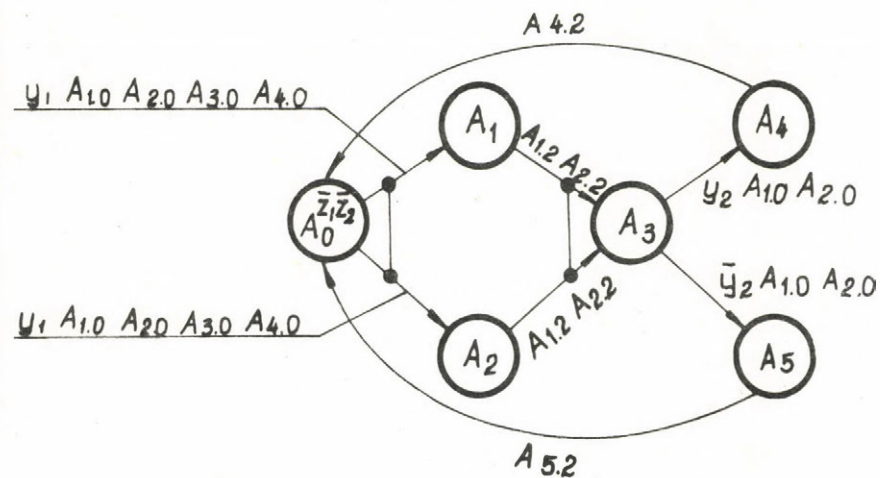


Рис 6



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАМЯТИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В ЦЕЛЯХ МИНИМИЗАЦИИ БЛОКА ПАМЯТИ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Иванов Н.Н., Шевченко Б.С.

Использование памяти объекта управления /ОУ/ при создании асинхронного дискретного управляющего устройства /АДУУ/, предназначенного для управления этим объектом, привлекает проектировщиков в связи с возможностью минимизации количества внутренних элементов памяти в АДУУ, таких как задержки, триггеры, регистры и др. При этом замкнутая система ОУ-АДУУ /рисунк 1/ может рассматриваться как автономный автомат, функционирование которого происходит в соответствии с предусмотренным проектировщиков режимом работы ОУ.

Использование элементов ОУ, обладающих памятью, в блоке памяти АДУУ описано в работах [1, 2]. Однако, язык секвенций, использованный там для описания АДУУ и тесно связанный с ее структурой, предопределил ограничения, налагаемые на ОУ и сводящиеся к тому, что количества входов ( $n$ ) и выходов ( $m$ ) ОУ связаны соотношением  $m = \frac{n}{2}$ , причем каждый выход  $x_i$  является выходом /возможно с отрицанием/ элемента памяти ОУ /исполнительного механизма/, на выходы которого попадают взводящий и сбрасывающий сигналы  $z_{iS}$  и  $z_{iR}$ , являющиеся выходными для АДУУ.

В работе [3] рассматривается структура АДУУ, предполагающая использование в качестве внутренней памяти АДУУ элементов так называемой двойной памяти /рис. 2/. В дальнейшем будем считать, что в реальном ОУ все выходы ОУ могут быть разбиты на группы  $\hat{x}_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$ , в каждой из которых в установившемся состоянии ОУ имеется строго одна единица, в каждом такте работы системы ОУ-АДУУ существует по крайней мере одна группа выходов, равных нулю в переходном процессе. Пос-

кольку в схему совпадения этой структуры /элементы "И"/ наряду с выходами блока памяти поступают также векторы, содержащие представителей из каждой группы  $\hat{x}_i$ , то появляется возможность переключать элементы внутренней памяти АДУУ в переходном процессе, когда некоторая группа выходов ОУ равна нулю. Предполагается, что переключение элементов памяти происходит со скоростью, существенно превышающей скорость переключения самого быстродействующего выхода ОУ. Такая организация АДУУ полностью исключает влияние состязаний элементов двойной памяти на его работоспособность и допускает вследствие этого произвольное, в том числе и логарифмическое кодирование состояний АДУУ.

Вместе с тем даже логарифмическое кодирование внутренней памяти АДУУ, в силу имеющихся возможностей использования памяти ОУ определяет избыточность такой структурной реализации АДУУ.

В настоящей работе рассматривается методика минимизации структуры, описанной в работе [3], направленная как на сокращение количества элементов внутренней памяти /в сравнении с логарифмическим кодированием/, так и на уменьшение длин конъюнкций, соответствующих переходам /тактам/ в системе ОУ-АДУУ и опирающаяся на использование триггерных свойств ОУ.

Предварительно укажем способ описания поведения системы ОУ-АДУУ, используемый при составлении технического задания на проектирование АДУУ и основанный на составлении специального графа. Отдельным тактам работы системы взаимно-однозначно соответствуют ребра графа, нагруженные записью следующего вида:

$$\phi / Z - x, \quad (1)$$

где  $\phi$  - условие перехода, представляющее собой конъюнкцию  $\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_{is}$  внешних входов,  $Z$  - список команд на ОУ,  $x$  - реакция ОУ на данные команды - список значений изменяющихся на данном переходе выходов ОУ. Вершины графа соответствуют установленным состояниям ОУ, причем если в одной вершине сходятся



несколько путей, состоящих из совокупности связанных ребер, то необходимо соблюдение равенства векторов  $x$ , составленных из входов ОУ, равных единице и получающихся в результате отработки этих путей. Таким образом вершины графа оказываются закодированными векторами  $x$ , причем может оказаться, что одним и тем же кодовым вектором  $x$  наделены несколько вершин.

Будем называть граф, составленный с соблюдением перечисленных правил графом-алгоритмом. Очевидно, что граф-алгоритм несет в себе всю информацию о поведении ОУ, т.е. о множестве допустимых в нем вход-выходных последовательностей  $\{z^* x^*\}$ .

Отметим, что граф-алгоритм может быть истолкован как граф автомата Мура, ребра которого нагружены буквами входного алфавита, каковыми являются векторы  $z$ , а состояния /вершины/ отождествляются с выходами  $x_\ell$  / $\ell$  - номер вершины/.

Техническая реализация графа-алгоритма по структуре с двойной памятью может проводиться отождествлением  $\ell$ -ой вершины с конъюнкцией  $B_\ell$  всех переменных от ОУ, принимающих в данной вершине единичное значение /по одной переменной от каждой группы  $\hat{x}_i$  /, и кода вершины, полученного от блока памяти:

$$B_\ell = x_{1j} \cdot \dots \cdot x_{ht} \cdot \tilde{p}_1 \cdot \dots \cdot \tilde{p}_q, \quad (2)$$

где  $h$  - число группы  $\hat{x}_j$  / $j = 1, 2, \dots, h$ /.

Каждое  $r$ -ое ребро графа-алгоритма отождествляется с конъюнкцией внешних входов  $\tilde{y}_{i1} \cdot \dots \cdot \tilde{y}_{is}$  и переменной вершины  $B_\ell$ , из которой исходит данное ребро:

$$\Pi_r = B_\ell \cdot \tilde{y}_{i1} \cdot \dots \cdot \tilde{y}_{is}. \quad (3)$$

Если на данном ребре условие перехода пусто /переход безусловный/, то  $\Pi_r = B_\ell$ . Сигналы, соответствующие ребрам,

поступают на входы матрицы "ИЛИ".

Выходы матрицы "ИЛИ" поступают на блок памяти и выходной блок, содержащий при необходимости выходные триггеры, которые мы в дальнейшем будем относить к ОУ.

Работа блока внутренней памяти состоит в следующем. При появлении единичного сигнала на взводящем входе некоторого элемента двойной памяти взводится элемент памяти первого уровня, а при исчезновении этого сигнала единица с этого элемента переписывается на элемент уровня, являющийся выходным. Аналогично, при поступлении единичного сигнала на сбрасывающий вход элемента первого уровня на нем записывается 0, переписываемый на элемент второго уровня при исчезновении этого сигнала. Отметим, что исчезновение сигналов на входах блока памяти соответствует началу переходного процесса в ОУ, т.е. отработке команд, инициированных некоторым ребром графа-алгоритма.

Пусть теперь нам предъявлен некоторый граф-алгоритм, по которому составлены конъюнкции  $V_\ell$ ,  $\ell = 1, 2, \dots, p$ , для всех его  $p$  вершин. В каждой конъюнкции выделим ту часть переменных ОУ, которая не изменяется на переходе из вершины, которой данная конъюнкция соответствует. Обозначим ее  $C_\ell$ . Отметим, что если из данной вершины ведет несколько ребер, то соответственно их количеству мы получим конъюнкции  $C_{\ell 1}, \dots, C_{\ell t}$ .

Рассмотрим теперь произвольную пару вершин графа-алгоритма, которым соответствуют конъюнкции  $V_i$  и  $V_j$ , причем  $j$ -я вершина не является последователем  $i$ -ой по  $K$ -му переходу. По конъюнкции  $V_i$  построим  $C_{iK}$ , соответствующую этому переходу из  $i$ -ой вершины. Если существует хотя бы одна группа  $\hat{x}_j$ , для которой в  $C_{iK}$  и  $V_j$  единичное значение принимают различные переменные ОУ, то будем говорить, что  $j$ -я вершина изолирована на  $K$ -ом переходе из  $i$ -ой вершины. В противном случае  $j$ -я вершина будет считаться неизолированной на  $K$ -ом переходе из  $i$ -ой вершины.



Условие изолированности всех вершин на каком-либо переходе /кроме тех, которые являются началом и концом его/ является достаточным условием отсутствия критических состязаний по переменным ОУ на этом переходе, т.е. на этом переходе вне зависимости от порядка переключения переменных ОУ не сможет стать равной единице ни одна конъюнкция  $V_j$ , соответствующая вершине, в которую не ведет данный переход или из которой он исходит.

Вершину, которая изолирована по всем переходам /кроме тех, которые исходят из нее самой и ведут в нее/ будем называть изолированной. Очевидно, что, если все вершины графа-алгоритма изолированы, то отпадает необходимость во введении внутренней памяти АДУУ, хотя в некоторых случаях, исходя из требований надежности, может применяться кодирование вершин графа-алгоритма внутренней памятью АДУУ.

Пусть теперь в графе-алгоритме существуют вершины, которые не изолированы по некоторым переходам. Поставим задачу отыскания такого кодирования вершин графа-алгоритма внутренней памятью АДУУ, при котором число элементов памяти не превосходило бы  $\lceil \log_2 p \rceil$ .

Пусть нам удалось найти разбиение множества вершин графа-алгоритма на подмножества, обладающее следующими свойствами:

1. Каждая вершина входит ровно в одно подмножество.
2. Во всяком подмножестве, содержащем более одной вершины, каждая вершина изолирована на переходах, исходящих из других вершин этого подмножества /кроме тех, которые ведут в эту вершину/.
3. Во всяком подмножестве, содержащем более одной вершины, каждая вершина изолирована на переходах, связывающих остальные подмножества с рассматриваемым /если таковые существуют/.

Разбиение, обладающее указанными свойствами будем называть изолированным.

Всем состояниям, входящим в одно подмножество изолированного разбиения, присвоим одинаковые коды  $\tilde{P}_1 \dots \tilde{P}_{q'}$ , внутренней памяти /  $q'$  - число элементов памяти/, однако, различным подмножествам будут соответствовать различные коды.

Т е о р е м а. При указанном способе кодирования вершин графа-алгоритма критические состязания отсутствуют.

Доказательство. Рассмотрим сначала произвольный переход, на котором переключение памяти не происходит /т.е. переход, соединяющий вершины одного и того же подмножества изолированного разбиения/. Пусть  $\ell$ -я вершина не изолирована на данном переходе. Очевидно, что эта вершина не входит в подмножество, содержащее начальную и конечную вершины данного перехода по свойствам изолированного разбиения. Но тогда во время этого перехода  $V_\ell = 0$ , т.к. конъюнкция  $\tilde{P}_1 \dots \tilde{P}_{q'}$ , соответствующая данной вершине, равна нулю.

Рассмотрим теперь переход, на котором переключаются элементы внутренней памяти АДУУ.

Если существует вершина с номером  $\ell$ , не изолированная на данном переходе, то эта вершина не может находиться в подмножествах, содержащих начальную и конечную вершины данного перехода.

По этой причине  $V_\ell = 0$  во время этого перехода, т.к.  $\tilde{P}_1 \dots \tilde{P}_{q'}$ , соответствующая данной вершине, равна 0 как в начале так и в конце перехода, а состязания элементов памяти не являются критическими по причинам, указанным выше при описании структуры АДУУ. Теорема доказана.

Если применить логарифмическое кодирование подмножеств изолированного разбиения, то очевидно, что  $q' \leq q = \lceil \log_2 p \rceil$ . До сих пор мы предполагали, что в каждую конъюнкцию  $V_\ell$  входит строго одна переменная ОУ из каждой группы  $\hat{x}_j$ .



Рассмотрим теперь, в какой мере могут быть сокращены длины конъюнкций, образуемых переменными ОУ. Для сокращенных конъюнкций введем обозначение  $B'_\ell$ . Выделим прежде всего ту часть конъюнкции переменных ОУ, которая с необходимостью должна быть сохранена при любом возможном сокращении. Рассмотрим некоторую вершину с номером  $\ell$  со всеми входящими ребрами. Для индикации окончания перехода в эту вершину и начала любого из следующих переходов, необходимо в  $B'_\ell$  ввести конъюнкцию тех выходных переменных ОУ, каждая из которых взвешена хотя бы на одном входящем ребре, т.е. переменных, входящих в  $x'_\ell = \bigcup_{i=1}^{\alpha} X_i$ , где  $\alpha$  — количество входящих ребер.

Введем следующие обозначения. Пусть из некоторого вектора  $x_\ell$ , соответствующего  $\ell$ -ой вершине графа-алгоритма, выделено подмножество  $x''_\ell \leq x_\ell$ . Множество индексов групп  $\hat{x}_j$ , в которые входят переменные из  $x''_\ell$ , обозначим  $N(x''_\ell) \leq \{1, 2, \dots, h\}$ . Соответственно множество индексов групп  $\hat{x}_j$ , в которые входят переменные ОУ, образующие  $X_i$  — реакцию ОУ на команды  $i$ -го перехода, обозначим  $N(X_i)$ ,  $i=1, \dots, \beta$ , где  $\beta$  — количество исходящих из  $\ell$ -ой вершины ребер.

Для того, чтобы на любом из следующих переходов и по окончании его  $B'_\ell$  обратилась бы в ноль, необходимо в  $B'_\ell$  включить конъюнкцию переменных ОУ, входящих в некоторое  $x''_\ell$  такое, что  $N(x''_\ell) \cap N(X_i) \neq \emptyset$  для любого  $i = 1, \dots, \beta$ .

Заметим, что если первое подмножество  $x'_\ell$  определяется однозначно, то нахождение минимального  $x''_\ell$  связано с некоторым перебором.

Полагая  $\tilde{x}_\ell = x'_\ell \cup x''_\ell$ , образуем из всех переменных входящих в  $\tilde{x}_\ell$ , конъюнкцию  $D_\ell$ , которая войдет в  $B'_\ell$  как основа.

Перейдем теперь к построению  $B'_\ell$ , имея в виду получение минимальных или близких к минимальным длин этих конъюнкций. рассмотрим произвольную вершину с номером  $\ell$ , входящую в не-

которое подмножество изолированного разбиения, Могут встретиться следующие ситуации:

- а/ вершина изолирована на всех переходах;
- б/ вершина не изолирована на некоторых переходах, на которых переключение внутренней памяти не происходит;
- в/ вершина не изолирована на некоторых переходах, сопровождаемых переключением внутренней памяти.

В случае а/ при составлении  $B'_\ell$  к  $D_\ell$  следует добавить такие переменные из  $x_\ell$ , которые позволят получить  $B'_\ell = 0$

- 1/ на всех переходах из других вершин этого же подмножества,
- 2/ на всех переходах, ведущих в данное подмножество,
- 3/ на всех переходах, сопровождаемых переключением более одного элемента памяти, и в том случае, если при некотором порядке переключения элементов памяти возможно получение кодовой комбинации, соответствующей рассматриваемой вершине. Нетрудно убедиться в том, что на всех остальных переходах  $B'_\ell = 0$ . Добавление переменных к  $D_\ell$  может не понадобиться, если для каждого из всех перечисленных в пп. 1,2,3 переходов, найдется хотя бы одна группа  $\hat{x}_j$ , для которой в  $C_{ik}$  и  $D_\ell$  единичное значение принимают различные переменные  $/C_{ik}$  - неизменяемая на переходе часть переменных ОУ/.

Рассмотрение ситуации б/ не приводит к необходимости учета других групп переходов, кроме перечисленных в пп. 1,2,3. Действительно, если рассматриваемая вершина не изолирована на некотором переходе, не сопровождаемом переключением внутренней памяти, то по свойствам изолированного разбиения этот переход соединяет пару вершин из другого ее подмножества. Но тогда  $B'_\ell = 0$ , т.к. на этом переходе равна нулю конъюнкция, соответствующая кодовой комбинации, получаемой от блока внутренней памяти.

В случае в/ необходимо рассмотреть кроме переходов, перечисленных в пп. 1,2,3, также 4/ переходы, на которых  $\ell$ -я вершина не изолирована и происходит переключение более одного



элемента внутренней памяти, причем при некотором порядке переключения возможно получение кодовой комбинации, соответствующей  $\ell$ -ой вершине. В этом случае состязания элементов памяти становятся некритическими, если в  $B'_\ell$  добавить возможно отсутствующую в  $D_\ell$  конъюнкцию переменных из некоторого множества  $x''_\ell < x_\ell$ , получаемого следующим образом.

Для каждого перехода, описанного в п. 4, построим пересечение  $N_{K_i} = N(x'') \cap N(X_{K_i})$ , где  $x''_K$  соответствует начальной вершине перехода,  $X_{K_i}$  - взвешенное на ребре множество переменных ОУ. Из  $x_\ell$  выберем подмножество  $x''_\ell$ , такое что  $N(x''_\ell) = \cup N_{K_i}$ , где объединение построено по всем переходам, описанным в п. 4. Тем самым будет гарантировано равенство  $B'_\ell = 0$  в момент переключения внутренней памяти АДУУ.

Алгоритмически процессы построения изолированного разбиения и сокращенных конъюнкций  $B'_\ell$  вполне доступны для реализации в виде программ для ЭВМ.

Алгоритм построения изолированного разбиения здесь не описывается. Заметим, что при его практическом построении целесообразно стремиться к тому, чтобы получающееся в результате работы алгоритма изолированное разбиение имело бы близкое к минимальному количеству переходов между подмножествами, что в конечном итоге может привести к уменьшению объема матрицы "ИЛИ". Вмешательство проектировщика в процессе автоматического синтеза АДУУ может потребоваться только на этапе кодирования подмножеств изолированного разбиения. При этом он должен стремиться к тому, чтобы максимально приблизиться к однопеременному кодированию, что сократит /исключит при строго однопеременном кодировании/ вычисления, связанные с осуществлением переходов, описанных в п. 4.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Захаров В.Н.: Секвенциальное описание управляющих автоматов.  
Известия АН СССР, Техническая кибернетика, 1972, № 2.
2. Захаров В.Н.: Автоматы с распределенной памятью.  
"Энергия", 1975.
3. Таль А.А., Руднев В.В., Чернышев В.И. и др.: Асинхронное управляющее устройство.  
Авт. свид. СССР № 546885 по заявке от 20.07.73. Бюлл. изобр. № 6, 1977.



## ПРЕИМУЩЕСТВА СТРУКТУРНОЙ ИЕРАРХИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ОПЕРАТИВНО-ПРОГРАММИРУЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В.В. Руднев, Т.К. Берендс

Как известно, иерархия-принцип, широко используемый при построении сложных систем управления. В частности, это касается и систем управления, используемых в АСУ ТП. Примером может служить управление с помощью ЭВМ группой станков с числовым программным управлением и обслуживающих эти станки манипуляторов. ЭВМ образует верхний уровень иерархии, на нижнем уровне находятся системы управления отдельными станками или манипуляторами.

Однако, иерархический принцип возможно и целесообразно использовать и при реализации сравнительно несложных систем, таких, например, как устройство управления /УУ/ химическим агрегатом или роботом-манипулятором. Эта целесообразность базируется, в основном, на следующих соображениях:

а/ описанию управляемого технологического процесса соответствует описание работы верхнего уровня иерархии, которое может быть составлено на языке технологических команд, а не на языке непосредственных воздействий на исполнительные органы /ИО/ объекта. Язык технологических команд понятен как заказчику-технологу, так и исполнителю, позволяет описывать процесс укрупненно, а потом и более обозримо;

б/ уже на этапе составления задания на проектирование появляется возможность естественной декомпозиции УУ и выделения таких его узлов, которые многократно используются в процессе управления. Это позволяет составлять и исследовать описания достаточно сложных в целом систем, а также избежать аппаратурной избыточности.

Предлагаемая иерархическая структура УУ иллюстрируется на рис. 1. Верхний уровень этой структуры — блок команд БК. В этом блоке в виде последовательности команд реализуется программа управления технологическим процессом. Каждой команде соответствует свое состояние БК. Команда интерпретируется как совокупность воздействий на объект, соответствующих этапу технологического процесса и состоит из простых команд, выполнение которых начинается одновременно. Примеры простых команд — "обточить заготовку", "наполнить резервуар", "довести температуру узла до заданной и поддерживать ее на этом уровне" и т.д.

Простые команды являются входными сигналами нижнего уровня УУ и могут поступать на этот уровень от БК в режимах "автомат" и "потактовая отработка", а в режиме "оператор" непосредственно с пульта оператора. Этот уровень представляет собой совокупность конечных автоматов, названных нами "моторными" по образу двигательных механизмов в живых организмах. Кроме простых команд моторные автоматы /МА/ воспринимают сигналы  $x$  датчиков от управляемой ими части объекта /подобъекта  $ПО_i$ /. Выходами МА являются сигналы  $z$  на исполнительные органы /ИО/ подобъекта и сигнал  $u_i$ , выдаваемый  $МА_i$  на верхний уровень и свидетельствующий об исполнении простой команды.

Таким образом, входы и выходы МА распадаются на две группы. 1-я группа представляет собой связи с верхним уровнем иерархии. Входы этой группы — простые команды, а выход — сигнал "команда исполнена". 2-я группа — входы и выходы связаны со своим подобъектом. Входами этой группы являются сигналы датчиков, а выходами — сигналы на ИО.

Кроме этих двух уровней структура содержит промежуточное устройство — блок  $U$  синхронизации выходов 1-ой группы МА. При наличии сигналов  $u_i$  /"простая команда исполнена"/ на всех выходах  $U$ , выход  $u$  этого блока принимает значение "команда исполнена" и блоку БК разрешается, тем самым, переход к следующей команде.



Блок команд может также воспринимать сигналы от оператора /или устройства управления более высокого уровня/, а также иногда и от объекта /канал  $x'$  на рис. 1/.

Иерархический принцип построения УУ технологическим оборудованием приводит к значительному упрощению стыковки УУ с объектом управления, оперативной перенастройки УУ, стыковки УУ с устройством управления более высокого уровня /например, с ЭВМ/ и открывает пути к созданию универсальных УУ технологическими процессами. Остановимся на этом подробнее.

1. Наиболее ответственным при наладке УУ является этап его стыковки с объектом управления. При применении иерархического принципа этот процесс существенно упрощается, так как совместная работа каждого МА со своим подобъектом может быть отлажена в отдельности.

2. Иерархический принцип открывает большие возможности для оперативной перенастройки УУ, поскольку для изменения алгоритма управления требуется лишь изменение программы, реализуемой в БК, и не требуется перестройка структуры УУ в целом. Программа, составленная в укрупненных терминах технологических команд, имеет ясный технологический смысл, что облегчает ее оперативное составление и изменение.

3. Упрощается стыковка УУ с ЭВМ, используемой в качестве устройства более высокого уровня. Выходами на ЭВМ в этом случае могут быть уже не сигналы на ИО, а команды отдельным МА или блоку команд. Сигнал об исполнении своих команд ЭВМ может получать в виде укрупненного сигнала от блока U - "команда исполнена".

4. Иерархический принцип открывает путь к созданию универсальных УУ, поскольку в силу малой размерности становится возможной типизация МА, а программносителем является стандартный блок команд, или, в случае наиболее простых программ, просто считывающее устройство, например, с перфоленты. Появля-

ется возможность построения УУ в виде набора из нескольких МА и блока команд определенной размерности и простого согласования такого УУ с конкретным объектом, сложность которого не превышает возможностей такого универсального УУ.

При проектировании специализированного УУ конкретным объектом становится целесообразным представление о нижнем уровне структуры как о блоке дистанционного управления /БДУ/ объектом. В этом случае БДУ используется для управления объектом вручную, а также может служить буферным устройством в автоматическом режиме управления, когда в качестве верхнего уровня УУ применяется БК или/и ЭВМ.

Блок дистанционного управления состоит из нескольких МА, необходимых схем блокировки, блока синхронизации  $U$ , элементов связи с ЭВМ и пульта оператора, служащего для связи оператора с БДУ. Схемы блокировки, элементы связи с ЭВМ и организация пульта могут иметь несущественные особенности, связанные с иерархичностью УУ, на которые мы здесь не будем обращать внимания. Блок синхронизации может быть выполнен как схема совпадения по всем  $u_1$ .

Специфика, связанная с иерархичностью, в основном касается построения МА. МА является конечным автоматом, а потому к нему применимы все результаты теории синтеза конечных автоматов. Необходимо лишь помнить при этом, что входами такого автомата будут пары, состоящие из входов МА первой и второй групп /то же самое касается и выходов/. Однако, такой подход не всегда целесообразен. Во-первых, функцию выходов МА желательно представлять в виде двух функций выхода, отнесенных к различным выходным каналам МА. Это функции  $\lambda_0$  и  $\lambda_c$ . Функция  $\lambda_0$  относится к выходу  $z$  и чаще всего имеет форму функции выходов автомата Мура:  $\lambda_0: S \rightarrow Z$ . Функция  $\lambda_c$  относится к выходу  $u_1$  и всегда имеет форму функции выходов автомата Мили:  $\lambda_c: S \times S \rightarrow U$ . Во-вторых, следует помнить, что входы  $C$  и  $X$  имеют различное техническое содержание. Входы  $C$  /команды на МА/ связаны с работой не столько самого МА, сколько совокуп-



ности из МА и подобъекта. Часто эти команды определяют целую последовательность переключений в МА и ПО. Что касается входов  $X$ , то эти входы определяют работу МА в пределах такта /за этим следует воздействие на ПО со стороны МА/. Это различие накладывает ограничение и на схему значений входов. Так, подача новой команды  $cес$  допустима лишь после того, как совокупность "МА-ПО" придет в устойчивое состояние /при этом должно быть выработано соответствующее значение  $u_i$ /. Лучше всего строить схему МА так, чтобы в процессе отработки команды моторный автомат становился невосприимчивым к ее смене. Что же касается смены входа  $X$ , то здесь имеют место обычные ограничения.

Таким образом, МА может быть определен как

$$MA = \langle C \times X, S, Z \times U, \delta, \lambda_o, \lambda_c \rangle, \text{ где}$$

$S$  - множество состояний МА,  $\delta: C \times X \times S \rightarrow S$  - функция переходов, а смысл всех остальных символов определен выше. Кроме того, должны быть выполнены описанные выше ограничения.

Примеры реализации простейших моторных автоматов приводятся в приложении, а более детальное рассмотрение специфики синтеза МА выходит за рамки этого сообщения.

Технический синтез МА может быть проведен по любой известной структуре, но ввиду сравнительной простоты МА нам кажется наиболее целесообразным использовать сетевой принцип реализации, как наиболее экономный, тем более, что во многих случаях МА может не иметь собственной внутренней памяти /она может быть не нужной вообще, а может оказаться достаточно памяти объекта/. Это, конечно, не исключает применение стандартных схем МА в случае, когда автоматизированный класс объектов допускает типизацию подобъектов, и, как следствие, типизацию МА.

В заключении этой части сообщения отметим, что входы "с" в МА могут представлять собой объединение идентичных вхо-

дов от пульта оператора, блока БК и/или ЭВМ.

После того, как разработка БДУ завершена, можно перейти к проектированию блока команд БК. Функция этого блока заключается в замене оператора автоматом при выполнении всей программы управления объектом. Поскольку назначение БК - выдача последовательности команд, синтез этого блока целесообразно вести по структуре, содержащей по триггеру на каждую команду. Поскольку основным условием переключения состояния /триггера/ БК является сигнал  $u$  с блока синхронизации, коммутационные связи БК, относящиеся к переключениям состояний, могут быть сделаны стандартными. Каждое переключение состояний БК требует последовательной смены  $u \rightarrow \bar{u} \rightarrow u$ . Эта смена происходит следующим образом. Появление сигнала  $u$  на выходе блока синхронизации разрешает БК переключаться в состояние, соответствующее следующей команде программы. Моторные автоматы, получив при этом новые простые команды, выдают сигналы  $\bar{u}_1$ , что вызывает появление сигнала  $u$ . Этот сигнал подготавливает возможность следующего переключения состояния БК после отработки команды в МА и выдачи ими всеми сигналов  $u_1$ , что приведет к появлению сигнала  $u$ . Если какой либо моторный автомат своей команды не отрабатывает, то на его выходе не появится  $u_1$  и работа БК будет заблокирована.

В некоторых случаях наличия сигнала  $u$  может быть недостаточно для перехода к следующей команде, если реакция объекта на предыдущую команду может быть неоднозначной. Здесь потребуется информация от объекта - сигнал  $x'$  /рис. 1/, подаваемый в виде соответствующего условия переключения в БК.

Все вышесказанное относится и к случаям исполнения БК в виде устройств считывания с перфокарты или перфоленты.

Смена программы в БК осуществляется либо перекоммутацией специального поля /которое может быть сделано сменным/, либо сменой носителя в считывающем устройстве.



В заключении описания структуры отметим, что БК и моторные автоматы работают в ней по принципу "запрос-ответ", что позволяет межуровневые связи структуры сделать независимыми от скорости работы отдельных ее блоков.

В заключении авторы выражают благодарность инж. Б.С. Шевченко за помощь и внимание к настоящей работе.

## Приложение

На рис. 2 и 3 показана реализация двух простейших моторных автоматов. Оба эти МА предназначены для управления двухпозиционными ИО, оснащенными одним или двумя конечными выключателями.

На рис. 2 показан МА с собственной внутренней памятью на триггере. Схемы ИЛИ на входах триггера служат для возможности подачи команд на МА с пульта оператора /сигнал  $c_{оп}^0$  и  $c_{оп}^1$ / и в нескольких тактах БК /сигналы  $c_{БК}^0$  и  $c_{БК}^1$ /. Выходы  $z^0$  и  $z^1$  соответствуют двум различным перемещениям ИО. Эти выходы сравниваются с сигналами  $x^0$  и  $x^1$  от датчиков /напр., конечных выключателей/ и лишь при соответствии команды на МА и положения ИО появляется сигнал  $u_i$ .

Рис. 3 иллюстрирует реализацию моторного автомата, не имеющего собственной внутренней памяти, и использующего память объекта. Если оба конечных выключателя выдают нулевые сигналы, свидетельствующие о том, что ИО находится в некотором промежуточном положении, то имеет место сигнал  $\bar{u}_i$ , в результате чего БК не может выработать на МА и воздествовать на МА представляется возможным лишь с пульта оператора. Если, например, имеет место сигнал  $x^0$ , то при отсутствии команды МА сам вырабатывает выходной сигнал  $z^0$ , удерживающий ИО в положении, соответствующем  $x^0$  /используется память объекта/. При подаче команды  $c^1$  выход  $z^0$  будет блокирован, зато появится выход  $z^1$ . По достижении ИО положения, соответствующего  $x^1$ , появится этот сигнал и будет иметь место ситуация, аналогичная случаю с  $x^0$ . Тактовый сигнал  $u_i$  вырабатывается при наличии сигнала от одного из концевиков, если при этом имеет место команда, соответствующая движению к этому концевнику, или отсутствуют обе команды.

Мы здесь не приводим пример МА, имеющих более двух внутренних состояний, несколько команд и осуществляющих по команде многотактное управление ПО. Это потребовало бы много места и невозможно ввиду ограниченности настоящего сообщения.



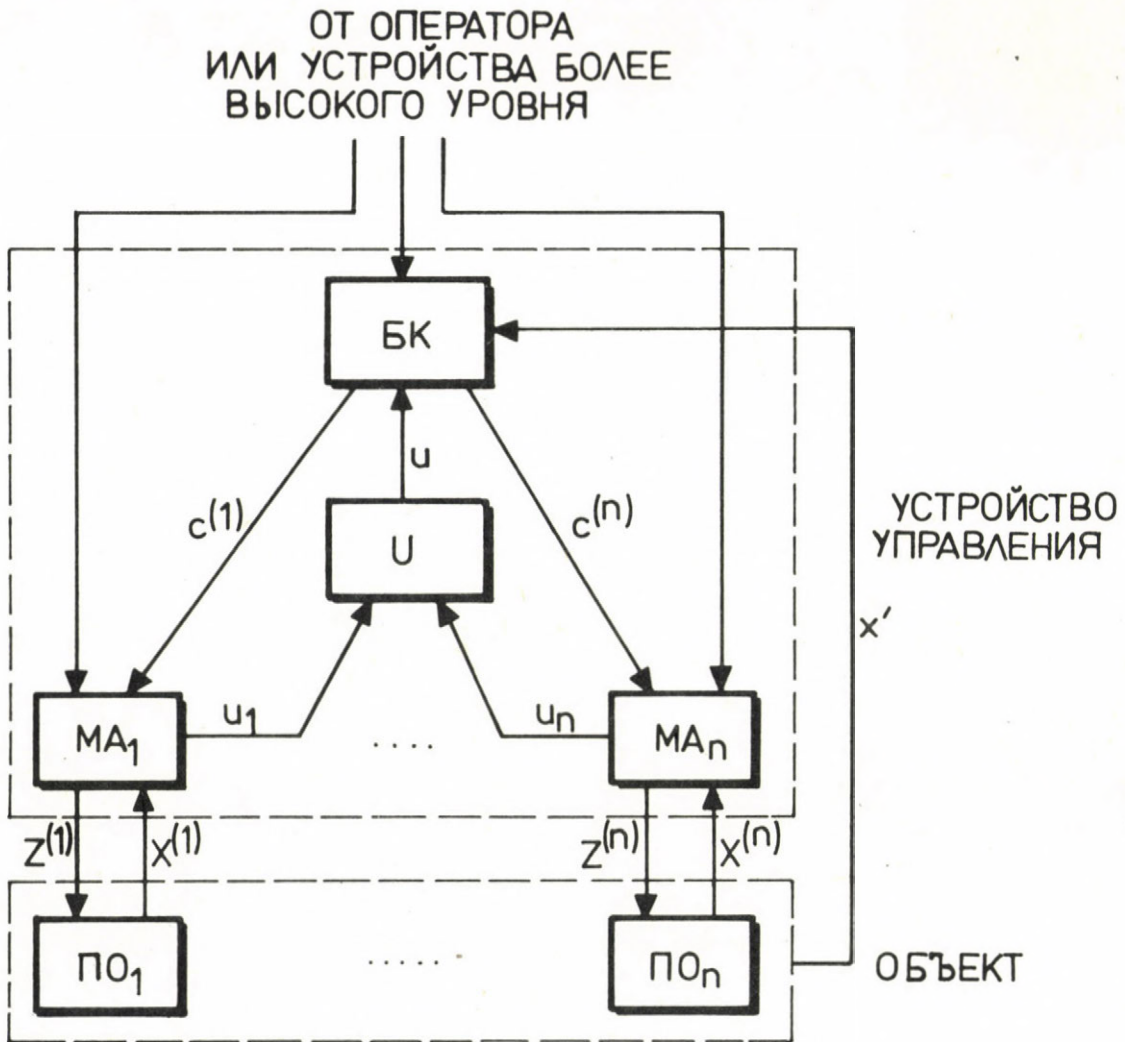


Рис. 1. Иерархическая структура устройства управления.

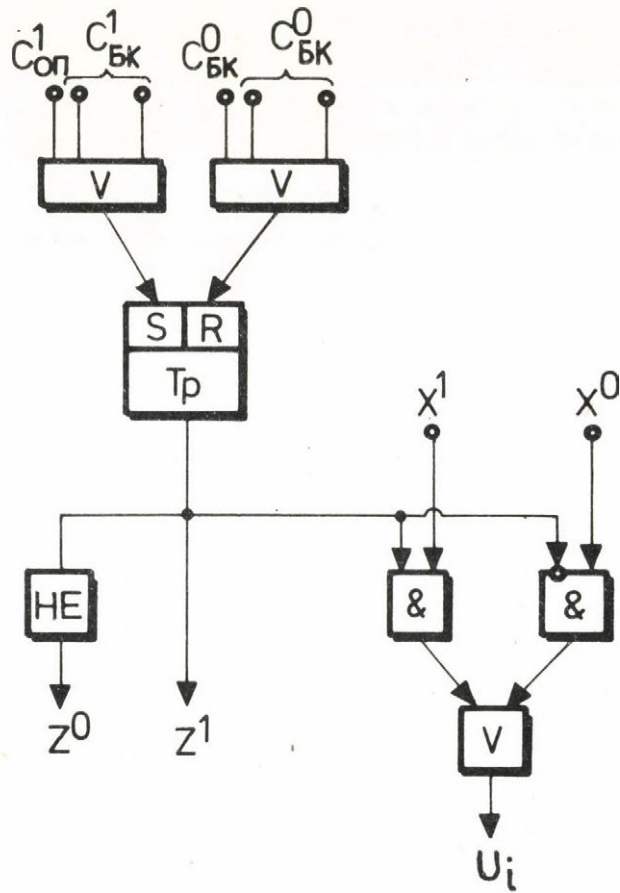


Рис. 2. Моторный автомат с собственной внутренней памятью.



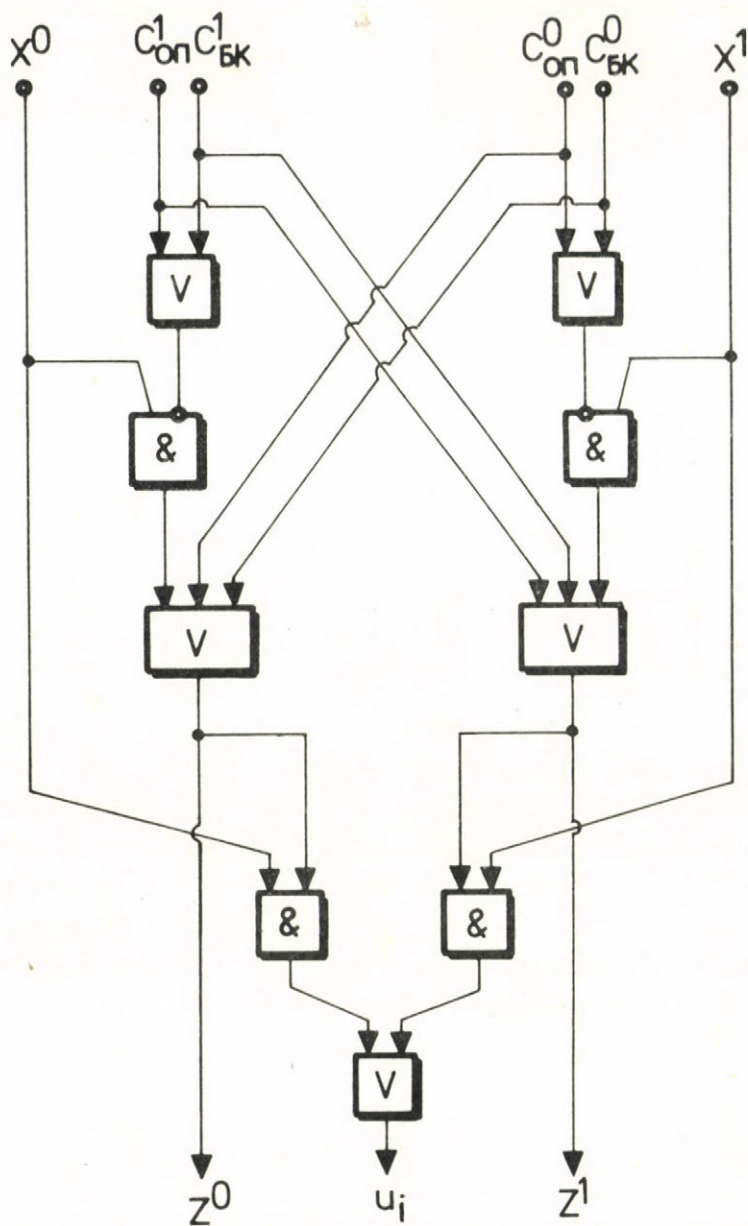


Рис. 3. Моторный автомат без памяти, использующий память объекта.





## КОМБИНАЦИЯ КЛАПАНОВ С РЕЛЕ ИДЕАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

д-р Л. Хельм, Г. Шаш, А. Сяч, Ф. Залан

ИИВТиА ВАН

Новое решение накачивания аммиака холодильника с новой конструкцией требует логических клапанов, работающих с паром аммиака, где характеристика реле идеальная и в случае медленного изменения управляющего входного сигнала, замыкание между пространствами аммиака высокого и низкого давления не складывается. Замыкание вызывает большую потерю холодопроизводительности и холодильник может полностью останавливаться. Требования к логическим каналам " G " : надежная работа при больших изменениях перепада давления.

Конструкции разработанного клапана, положение стержня клапана или клапанной тарелки к гнезду клапана имеет важную роль /рис. 1/.

Клапан " G " - комбинация двух моностабильных двухходовых клапанов: клапан 1 в исходном положении закрытый, а клапан 2 - открытый /рис. 2/.

В зависимости от подключения присоединителей, логическая функция клапана "G" является интервалом или копированием знака. В зависимости от присоединения и от положения стержня клапана и гнезда клапана друг к другу возможно восемь комбинаций клапанов, а в этом докладе исследуются только следующие

четыре комбинации:

- I. " G " инвертер; "1" стержень клапана переходного типа,  
"2" нет.
- II. " G " копирование знака; "1" стержень клапана переходного  
типа, "2" нет.
- III. "G" инвертер; "1" и "2" стержень клапана непереходного  
типа.
- IV. "G" копирование знака; "1" и "2" стержень клапана непереходного  
типа.

Составлено расчетное пособие комбинаций программ на настольную вычислительную машину ЭМГ 666. Основной принцип расчета описывается в связи с комбинациями III. и IV. Присоединение и принципиальная конструкция /III./ см. на рис. 2 .

Параметры учтенные в расчете, следующие:

- S - сила трения /одинаковая у каждого клапана из-за подобной конструкции/;
- D(1) ; D(2) - диаметр поршня /или эффективный диаметр мембраны/;
- R(1) ; R(2) - диаметр гнезда канала;
- R(O1) ; R(O2) - диаметр стержня клапана;
- F(1 MIN) ; F(2 MIN) - минимальная сила нажатия пружины;
- F(1 MAX) ; F(2 MAX) - максимальная сила нажатия пружины;
- P(T) - давление питания /разница между пространствами высокого и низкого давления/.

Статические диаграммы на рис. 3. показывают в III. комбинации /рис. 2/ зависимость положения клапанов и выходного давления - с учетом давления питания - от входного давления.

Порядок движения в функции от изменения входного давления ( $P_{be}$ ) следующий /рис. 3/:



$P_{be}$  увеличивается от нуля до  $P(T)$ :

- $\alpha$  клапан "2" закрывается с  $p_a$  до  $p_b$  .
- $h_1$  клапаны 1 и 2 закрытые /с  $p_b$  до  $p_c$  / .
- $\beta$  клапан 1 открывается у  $p_c$  /щелкает, потому что после начала открытия потребность силы снижается. В зависимости от давления питания возможно, что клапан полностью открывается только тогда, если  $p_{be}$  увеличивается на  $p_d$  /.

$P_{be}$  снижается с  $P(T)$  на нуль :

- $\gamma$  клапан 1 закрывается от  $p_1$  до  $p_2$
- $h_2$  клапан 1 и 2 закрытые / от  $p_2$  до  $p_3$  /
- $\delta$  клапан 2 открывается у  $p_3$  /щелкает, потому что после начала открытия к большому давлению относится уравновешенное положение. В зависимости от давления питания возможно, что клапан полностью открывается только у дальнейшего понижения входного давления /у  $p_4$  /./

Работа комбинаций клапанов характеризуется этими выделенными величинами давления, и удобная работа комбинаций клапанов обеспечивается с наступлением следующих условий:

- |                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| 1. $p_b < p_c$  |                             |
| 2. $p_3 < p_2$  | нет замыкания давления      |
| 3. $p_c < p_d$  |                             |
| 4. $p_4 < p_3$  | сразу полностью открывается |
| 5. $p_c < p(T)$ |                             |
| 6. $p_3 < 0$    | основное условие работы     |

Расчет характерных давлений в вышеупомянутых неравенствах следующий:

$$P_a = \frac{F(2 \text{ MIN}) + S + \frac{R(02)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$P_b = \frac{F(2 \text{ MAX}) + S + \frac{R(02)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$P_c = \frac{F(1 \text{ MIN}) + S + \frac{R(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(01)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(01)^2 \eta}{4}}$$

$$P_d = \frac{F(1 \text{ MAX}) + S}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(01)^2 \eta}{4}}$$

$$P_1 = \frac{F(1 \text{ MAX}) - S}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(01)^2 \eta}{4}}$$

$$P_2 = \frac{F(1 \text{ MIN}) - S}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(01)^2 \eta}{4}}$$

$$P_3 = \frac{F(2 \text{ MAX}) - S - \frac{R(2)^2 \eta}{4} - \frac{R(02)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$P_4 = \frac{F(2 \text{ MIN}) - S + \frac{R(02)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$



Пара вышеуказанной комбинации III. /инвертер "G"/ комбинация IV. /простое копирование знака/ реализуется простой переключкой. Характерные давления этой комбинации следующие:

$$p'_a = \frac{F(2 \text{ MIN}) + S}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_b = \frac{F(2 \text{ MAX}) + S}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_c = \frac{F(1 \text{ MIN}) + S + \frac{R(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(O1)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(1)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_d = \frac{F(1 \text{ MAX}) + S - \frac{R(O1)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(O1)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_1 = \frac{F(1 \text{ MAX}) - S - \frac{R(O1)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(O1)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_2 = \frac{F(1 \text{ MIN}) - S - \frac{R(O1)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(O1)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_3 = \frac{F(2 \text{ MAX}) - S - \frac{R(1)^2 \eta}{4} - \frac{R(O2)^2 \eta}{4} P(T)}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

$$p'_4 = \frac{F(2 \text{ MIN}) - S}{\frac{D(2)^2 \eta}{4}}$$

Условия рациональной работы соответствуют вышеуказанным /1-6./: Потому что  $p_c = p'_c$  и  $p_3 = p'_3$ , комбинация клапанов подходящая для логической схемы инвертера и копирования знака описывается 10-ю неравенствами:

1.  $p_b < p_c$
2.  $p_3 < p_2$
3.  $p_c > p_d$
4.  $p_4 > p_3$
5.  $p_c = p'_c < p(T)$
6.  $p_3 = p'_3 > 0$
7.  $p'_b < p'_c$
8.  $p'_3 < p'_2$
9.  $p'_c > p'_d$
10.  $p'_4 > p'_3$

Ход мыслей, показанный в случае комбинаций клапанов III и IV, по смыслу распространяется на каждую вышеупомянутую комбинацию и в конце концов полная информация получается из исследования 20 неравенств. Для проектирования данной конструкции учитываются только нужные неравенства исследуемые вычислительной машиной.

Эти принципиальные размышления практически не касаются вопроса измерений, у данной работы соответствующее измерение выполняется.

Распределение данной работы см. на рис. 4. Первый шаг расчета - ввод исходных данных, организуемый циклом "СПРОС ДАННЫХ" "F" 12 раз. спрос одной исходной информации - отдельная программа "СПРОС ДАННЫХ" "F" с "ИНДЕКС" "и", которая вызывает дальнейшие подпрограммы и цепи подпрограмм.



Следует заметить характеристическую многостепенную конструкцию программы, каждый расчетный и организационный блок - отдельная подпрограмма, которая состоит из цепи подпрограмм дополненных несколькими командами.

На рис. 5. подробно изложена работа подпрограммы "СПРОС ДАННЫХ" F, которая, в зависимости от значения "ИНДЕКС" "и", имеет первоначальное имя переменных S, D(1), R(1), R(01), D(2), R(02), F(1 MIN), F(1 MAX), F(2 MIN), F(2 MIN), F(2 MAX), P(T), изображает на экране "ДИСПЛЕЙ". К занулению "БАЙТ"-ов данной части памяти необходима работа подпрограмм "ЗАНУЛЕНИЕ" "А" и "ИЗОБРАЖЕНИЕ" "С", S, D(1) и т.д. Программа "ИЗОБРАЖЕНИЕ" дальше разделяется и так образуется дополнение цепи подпрограммы S, D(1) и т.д., "СЛОВАРЬ ТЕКСТА", "ОПИСАНИЕ И ЧЕРЧЕНИЕ БАЙТОВ" "Б". Эти подпрограммы, цепи подпрограмм содействуют в других местах расчета, например, подпрограмма "ОПИСАНИЕ И ЧЕРЧЕНИЕ БАЙТОВ" "Б" играет роль в "ОЦЕНКА НЕРАВЕНСТВА" "Й". Под влиянием очередных команд на экране изображается надпись "ЗНАЧЕНИЕ = ", потом из данного сегмента памяти - определенного с "ИНДЕКС" "и" - изображается предыдущее значение переменного.

После этого вычислительная машина останавливается, и ждет команды оператора или конструктора, кто определяет, что принимает предыдущее значение переменного или определяет новое значение. Продолжение расчета - независимо от значения переменного - осуществляется нажатием кнопки "GO". В первом шаге вводное значение запоминается в данной части памяти, в зависимости от "ИНДЕКС" "и".

В программировании задания /рис. 4./ изготовление листа вводных данных составляет следующую цепь подпрограмм: "СООБЩЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ" "И".

Подобно спросу данных, подпрограмма размещается в ядре цикла, который совершается 12 раз. Подпрограмма "И" включает в себе подпрограммы "А", "В", "С" и "S", "D(1)" и "СЛОВАРЬ ТЕКСТОВ". Кроме этого существуют подпрограммы для цельнокопи-

рования чисел и текстов, и специальные подпрограммы для контроля формы изображения "ПЕЧАТАЕТ ИЛИ ИЗОБРАЖАЕТ НА ДИСПЛЕЕ" "X".

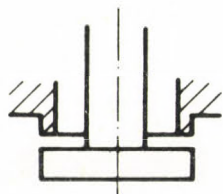
После этого следует самая важная часть расчета: цепь подпрограмм "УКАЗАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ" "K", в которой подпрограмма "РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТИ" "D" употребляется. Здесь, на базе вышеупомянутых уравнений, вычислительной машиной рассчитываются соединительные давления  $P_a$ ,  $P_b$  и т.д./ к разным типам клапанов /стержень клапана переходного и непереходного типа/ к режимам работы, к соединениям /инвертер, копирование знака/.

В схеме программ /рис. 4./ последний блок "ОЦЕНКА НЕРАВЕНСТВ И ПЕРЕДАЧА РЕЗУЛЬТАТОВ" "И". После предыдущего расчета "УКАЗАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ" "K", разные соединительные давления дополняются давлением питания  $p(T)$  и давлением "0", между 17 значениями давлений 20 неравенств исполняются, чтобы размещение клапанов в каждом режиме работы надежно работало. Целесообразно, если вычислительная машина исследует исполнение этих неравенств друг за другом, программа "И" базируется на цикле, который совершается 20 раз. Здесь, вместо простого прироста индекса внутри цикла, из-за выбора сравниваемых давлений, нужна вставка "СЛОВАРЬ СООТВЕТСТВИЯ И СРАВНЕНИЯ". Изменяющиеся байты адресных частей команд программы из словаря переносятся подпрограммой "ЧТЕНИЕ И ЗАПИСЬ БАЙТОВ" "Б". После прогона программой части, изменяющей соответствующую часть адресов, переносятся два сравнительных давления в рабочий сегмент, где сравнение и сообщение результатов легко организуется. Сообщение результатов, подобно ряду программ "И", включает в себе программные части - в зависимости от результата сравнения - для цельнокопирования употребляет подпрограмму "ПЕЧАТАЕТ ИЛИ ИЗОБРАЖАЕТ НА ДИСПЛЕЕ" "X".

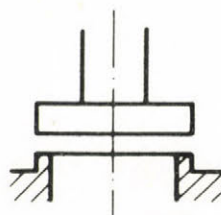
После сравнения соответствующих неравенств и сообщения результата, в конце цикла, который исполняется 20 раз внутри подпрограммы "И" расчет исполненный с исходными данными заканчивается, вычислительная машина останавливается. Если задание



с новыми данными рассчитывается, тогда кнопкой "GO" вычислительная машина попадает в положение после "СТАРТ" в подпрограмме "СПРОС ДАННЫХ". Возможно, вместо полного цикла спроса данных модифицировать значение давления питания  $p(T)$ . На рис. 4. показана эта ветка схемы нажатия, которая начинается кнопкой "P".



Стержень клапана переходного типа



Стержень клапана непереходного типа

Рис. 1.

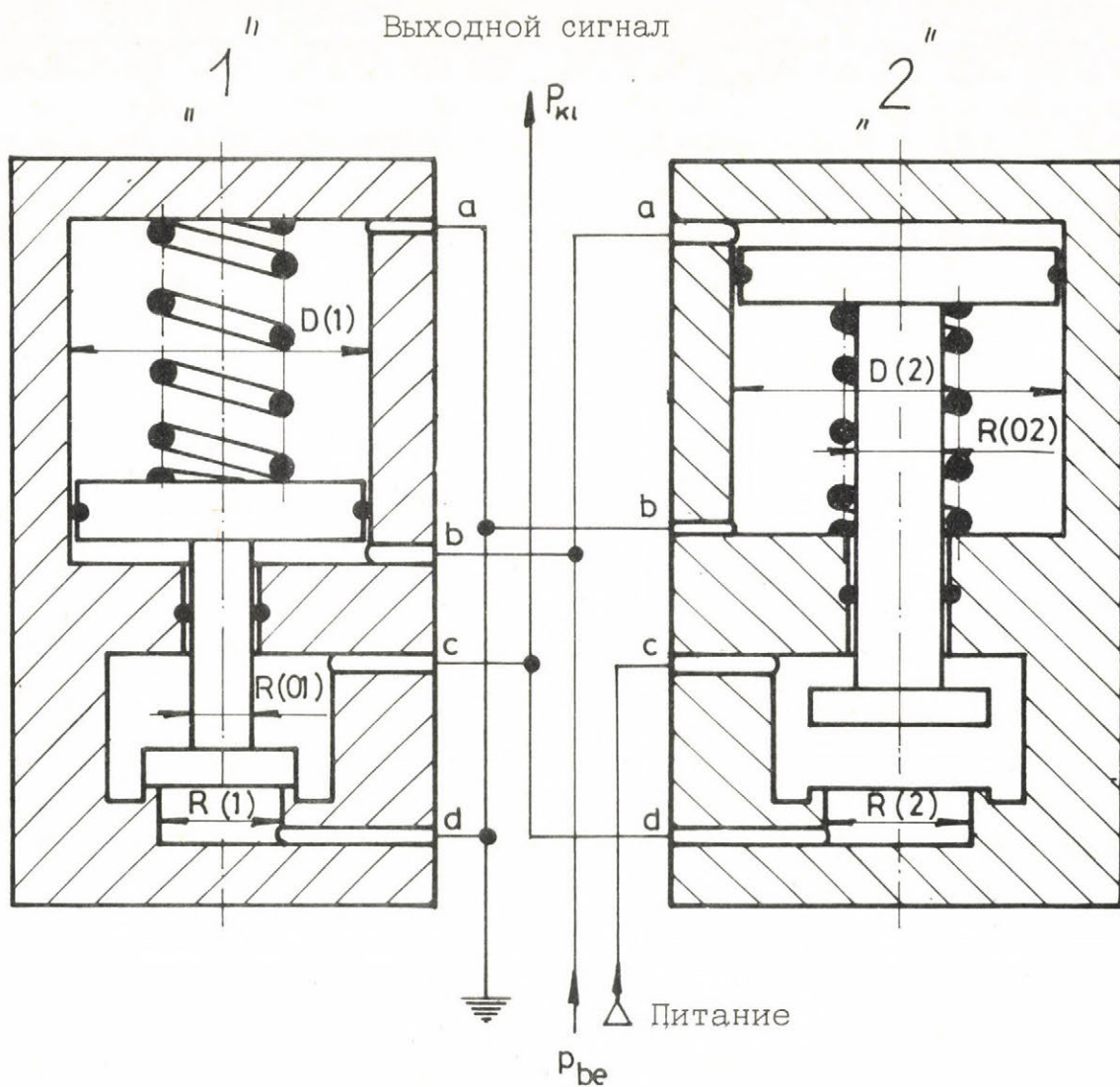


Рис. 2. Выходной сигнал.



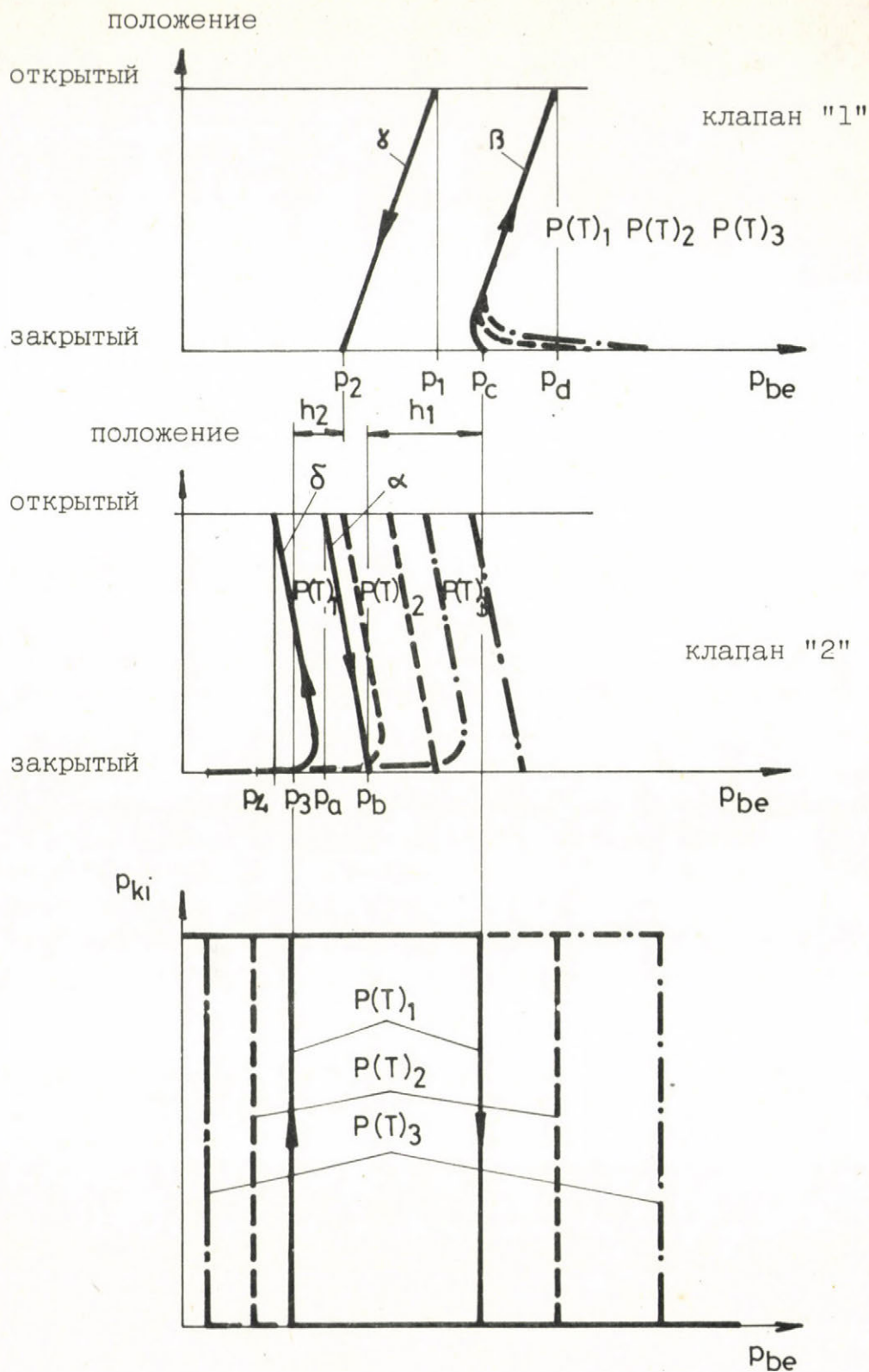


Рис. 3. Статические диаграммы.

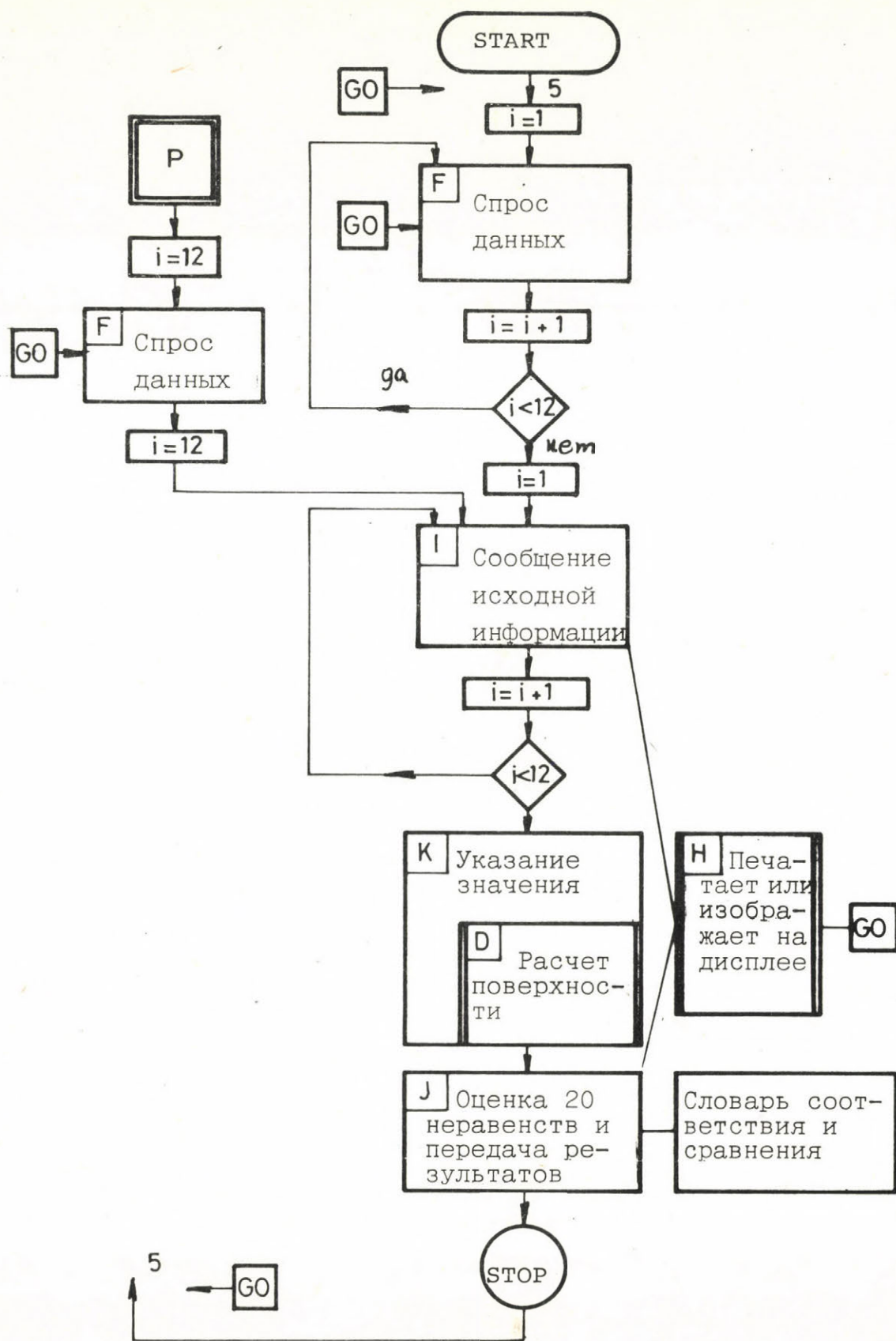


Рис. 4. Распределение данной работы.



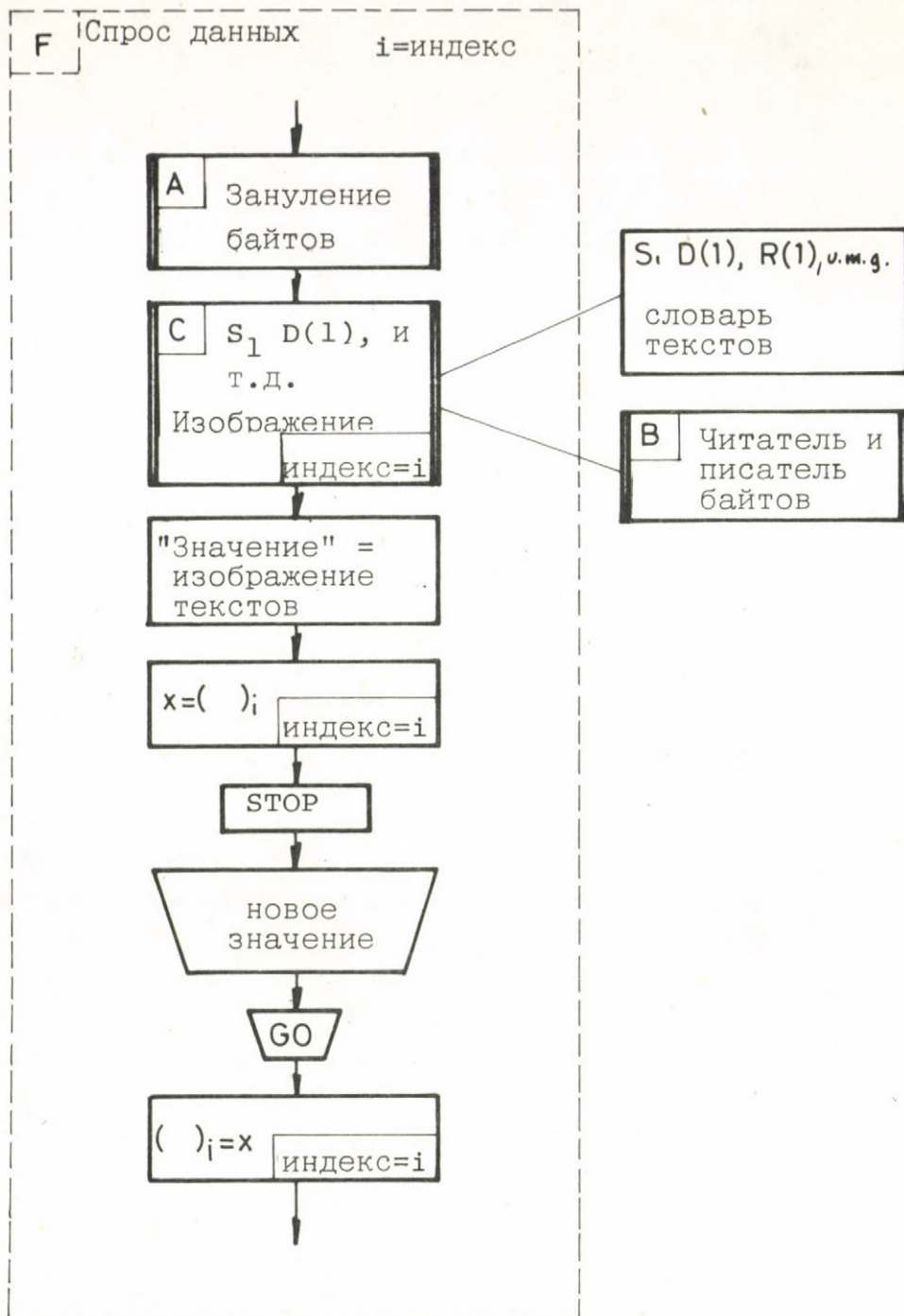


Рис. 5. Подробно изложена работа подпрограммы "Спрос данные" F





Вопросы энергоснабжения пневматических логических устройств нормального давления.

Пирошка Геренчер, научный сотрудник

Исследовательский Институт Вычислительной Техники  
и Автоматизации ВАН

Надежность логического анализа и синтеза зависит от стабильности статических и динамических факторов элементов систем. Технический синтез пневматических логических систем - то есть создание системы - влияет на качества этих элементов, в первую очередь из-за ограниченной способности питающей сети снабжать систему энергией. Динамическое рабочее состояние логической сети и переключение элементов вызывает за собой изменения течения и давления питающей сети.

Анализ логических элементов и усилителей мощности дискретной работы /переменные нагрузки во время переключения/ ограничивающие связи из-за соблюдения уровня сигналов, симметрических времен включения и выключения, определяются на проводимости питающих каналов.

Вопросы энергоснабжения пневматических логических устройств нормального давления.

Пирошка Геренчер, научный сотрудник

Исследовательский Институт Вычислительной Техники и Автоматизации ВАН

Методы логического анализа и синтеза применяются к идеальным элементам, то есть к элементам стабильного, статического и динамического характера. В пневматических логических системах - из-за соизмеримого времени передачи сигналов элементов и сигнальных линий - сигналы состязания могут возникать, особенно с появлением метода создания аппаратур с фрезерованным каналом. С применением методов электроники, сигналы состязания в большинстве устраняются [1]. Синтезы логических устройств создаются новые источники сигналов состязания: недостаточное снабжение энергией неправильно созданной питающей сети изменяет статические и динамические свойства элементов. Во время работы логической системы динамические процессы в питающей сети препятствуют сложению динамических связей или неустойчивыми станут логические связи.

Потребность воздуха питания пневматического логического элемента ходовой части

После прохождения временных явлений, пневматические логические элементы ходовой части в выключенном состоянии не требуют воздуха питания, а в выключенном состоянии требуют только в случае дроссельной нагрузки /пр. струйный элемент/. Динамические процессы питающей сети вызываются элементами в положении переключения. Задача элемента соединить данной части логической сети - в соответствии осуществленных логических связей - с давлением питания /логический уровень сигнала "1"/ или с атмосферой /логический уровень сигнала "0"/. Переход



между двумя состояниями не мгновенный, а продлится до данного времени. Анализ логических мембранных элементов нормального давления и усилителей мощности дискретного действия /рис. 1/ устанавливает, что - независимо от данной логической функции элемента - система клапанов исполняющих связь, заменяется системой на рис. 2. У каждого типа элементов во время перехода между двумя стабильными положениями подвижной части устанавливается связь между питающим каналом, выводом /логическая сеть/ и сбросом. Эта связь изменяется вместе с данным положением  $y$  совместного запирающего элемента. Включительным процессам требуется воздух питания на выходе и на сбросе. У выключения течение воздуха питания - в зависимости от отклонения между давлением питания и выходным давлением - тоже начинается.

Логические элементы и потребители воздуха питания исследуются на базе схемы замещения /см. рис. 2/. Давление питания  $P_t$  перед элементом, выходное давление питания  $P_1$  и весовые расходы зависят от положения  $y$  запроса клапана.

Функция перемещения по времени  $y(t)$  в первую очередь зависит от конструкции данных элементов. Предполагается возможность установления механическими средствами каждого положения запросов клапана. Элемент исследуется как потребитель.

Под влиянием перепада давления  $\Delta p_i$  на пневматическом сопротивлении весовой расход  $G_i$  проходит. На базе литературы отношения между двумя значениями следующие:

$$G_i = \alpha_i \sqrt{p_o + p_j} \sqrt{\Delta p_i} \quad /1/$$

$$\sigma_j = \sqrt{p_o + p_j} \quad /1a/$$

после подставки

$$G_i = \alpha_i \sigma_j \sqrt{\Delta p_i} \quad /1b/$$

где

$G_i$  - весовой расход  $[N/s]$

$\alpha_i$  - проводимость  $[m^2/s]$

$p_o$  - атмосфера  $[Pa]$

$p_j$  - давление после набивки/избыточное давление/  $[Pa]$

$\Delta p_i$  - перепад давления на набивке  $[Pa]$

Предполагается пропорциональное изменение проводимости каналов питающей стороны и стороны сброса с перемещением запора канала  $y$  [2] .

$$\alpha_T = \beta_1 (y_m - y) \quad /2/$$

$$\alpha_L = \beta_o y \quad /3/$$

где

$\alpha_T, \alpha_L$  - проводимость каналов питающей стороны и стороны сброса  $[m^2/s]$

$y$  - перемещение запора канала  $[m]$

$y_m$  - максимальное перемещение  $[m]$

$\beta_1$  и  $\beta_o$  - проводимость, относящаяся к единичному перемещению  $[m/s]$

В случае закрепления ходовой части элемента в любом  $y$  положении отношения давлений и весовых расходов определяются без учета емкостей  $C_1$  и  $C_2$  .

Нагрузка - с учетом равнодействующей проводимости  $\alpha_2 = \alpha'_2 \alpha''_2$  - исчисляется с помощью следующих уравнений:

$$G_t = \beta_1 (y_m - y) \alpha_1 \sqrt{p_t - p_1} \quad /4/$$

$$G_o = \beta_o y \cdot \alpha_o \sqrt{p_1} \quad /5/$$

$$G_2 = \alpha_2 \cdot \alpha_o \cdot \sqrt{p_1} \quad /6/$$

Применяя узловой закон Кирхгофа:

$$G_t = G_o + G_2 \quad /7/$$



После замен давление  $p_1$  на выходном соединителе:

$$p_1 = p_t \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^2 \left[ \frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2} \quad 0 \leq y \leq y_m \quad /8/$$

Весовой расход питающей стороны:

$$\sigma_t = \sqrt{p_t} \cdot \frac{\sigma_0 (\alpha_2 + \beta_0 y)}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^2 \left[ \frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2}} \quad 0 \leq y \leq y_m \quad /9/$$

Равнодействующий весовой расход исчисляется из давления  $p_t$  и  $G_t$  весового расхода:

$$G_t = \alpha_2 \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{p_t} \quad /10/$$

$$\alpha_e = \frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2} \left[ \frac{\alpha_2 + \beta_0 y}{\beta_1 (y_m - y)} \right]^2}} \quad 0 \leq y \leq y_m$$

Целесообразно вводить несколько безразмерных факторов:

Релятивная нагрузка:  $B = \frac{\alpha_2}{y_m \cdot \beta_1} \quad /11/$

Коэффициент симметрии:  $D = \frac{\beta_0 y_m}{\beta_1 y_m} \quad /13/$

Релятивное перемещение ходовой части:  $x = \frac{y}{y_m} \quad /14/$

Потому что  $\sigma_0 = \sqrt{p_0}$  следует  $\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \sigma_1^x = \sqrt{1 + \frac{p_1}{p_0}} \quad /15/$

После замен форма уравнений /8/, /9/ и /11/ следующая:

$$p_1(x) = \frac{p_t}{1 + \left[ \frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /8a/$$

$$G_t(x) = \beta_1 y_m \sqrt{p_t \cdot p_0} \frac{B + Dx}{\sqrt{1 + \left[ \frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2}} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /9a/$$

$$\alpha_e(x) = \beta_1 y_m \frac{B + Dx}{\sqrt{1 + \left[ \frac{B + Dx}{\sigma_1^x (1 - x)} \right]^2}} \quad 0 \leq x \leq 1 \quad /11a/$$

Потому что  $\sigma_1^x$  зависит от давления  $p_1(x)$ , вычисления и конструирования на базе уравнения /8а/ происходят определением переменную  $x$  к значениям  $p_1(x)/p_t$  :

$$x = \frac{1 - B \cdot f(p_1)}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /16/$$

где 
$$f(p_1) = \sqrt{\left(\frac{p_t}{p_1} - 1\right)\left(1 + \frac{p_1}{p_o}\right)} \quad /17/$$

Функция  $G_t(x)$  :

$$G_t(p_1) = \beta_1 y_m \sqrt{p_o} \frac{(B+D) \sqrt{p_1}}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /18/$$

К конструированию  $\alpha_e(x)$  пересчитывается уравнение /11а/ следующим образом:

$$\alpha_e(p_1) = \beta_1 \cdot y_m \cdot \frac{(B+D) \sqrt{p_1/p_t}}{1 + D \cdot f(p_1)} \quad /19/$$

На рис. 3 видно отношение выходного давления и давления питания, а формирование равнодействующей пропускной способности элемента в функции от относительного перемещения ходовой части.

Характеристики изменяются в соответствии с параметром давления перед элементом. Максимальное отклонение характеристик номинального и 60%-ого значения 10%. Значение параметра симметрии исследованных элементов:  $D = 1 \pm 0,15$ . Обыкновенное значение принимающееся во внимание в расчетах:  $D = 1$  .

#### Предписания логических уровней

##### 1. Ограничение нагрузки на выходе элемента.

Минимальное значение выходного сигнала логического элемента или усилителя мощности в включенном состоянии определяется с помощью нижнего предела области логического сигнала "1", который пропорционален давлению питания.



$$p_{lmin}/x=0/ \geq K_1 \cdot p_t \quad /20/$$

Из уравнения /16/:

$$x = \frac{1 - B \cdot f [p_1(0)]}{1 + D \cdot f [p_1(0)]}$$

$$B=f[p_1(0)]^{-1} = [(p_t/p_1(0)-1)(1+p_1(0)/p_o)]^{-\frac{1}{2}} \quad /21/$$

Допускаемая нагрузка вычисляется замещением проводимостей:

$$\alpha_2 \leq \beta_1 \cdot y_m \sqrt{\frac{K_1}{1 - K_1}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + K_1 \cdot p_t/p_o}} \quad /22/$$

## 2. Ограничения сопротивления питающего клапана

Под действием весового расхода  $G_t$  осуществляется подача давления на питающем канале с проводимостью  $\alpha_t$  /см. схему на рис. 2.б/.

Давление питания  $p_t$  перед элементом определяется со знанием равнодействующей проводимости:

$$p_t = p_{to} \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_o}{\sigma_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\alpha_e(x)}{\alpha_t}\right)^2} \quad /23/$$

где  $\sigma_t/\sigma_o = \sigma_t^* = \sqrt{1 + p_t/p_o} \quad /24/$

Давление питания перед элементом ограничивается двумя способами:

- а/ во время переключения давление не уменьшается под предписанной минимальной величиной  $p_{tmin} = K_t \cdot p_{to}$  ;
- б/ после переключения выходной сигнал - у данной нагрузки - сохраняется на предписанной величине.

Выполнив условие а/ определяется максимальная проводимость  $\alpha_{emax}$  . Из уравнения /19/:

$$\alpha_{e \max} = \beta_1 \cdot y_m \cdot \frac{B + D \sqrt{0,5}}{1 + D(1 + 0,5 \cdot p_t/p_o)^{-0,5}} \quad /25/$$

Заменяя в уравнении /23/:

$$p_{t \min} = \frac{p_{to}}{1 + \frac{\beta_1 y_m^2}{\alpha_1} \frac{(B + D)^2}{2(1 + p_t/p_o)[1 + D(1 + 0,5 \cdot p_t/p_o)^{-0,5}]^2}} \quad /26/$$

Допустимый минимум проводимости :

$$\alpha_{t \min} = 1 y_m \cdot \sqrt{\frac{K_t}{1 + K_t}} \cdot \frac{B + D}{\sqrt{2(1 + K_t p_{to}/p_o)[1 + D(1 + 0,5 K_t p_{to}/p_o)^{-0,5}]}} \quad /27/$$

Это условие употребляется в первую очередь у чистых мембранных систем, потому что в их устойчивом состоянии не требуют воздуха питания, и колебание давления ожидается только во время переключения. С предложениями  $B=0$  и  $D=1$  уравнение /27/ изменяется следующим образом:

$$\alpha_{t \min} = \beta_1 y_m \cdot \sqrt{\frac{K_t}{1 - K_t}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2(1 + K_t p_{to}/p_o)[1 + (1 + 0,5 K_t p_{to}/p_o)^{-0,5}]}} \quad /28/$$

Практически следующие данные исследуемых систем принимаются во внимание:

$$p_{to} = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Pa} ,$$

$$K_t = 0.8 ,$$

$$p_o = 10^5 \text{ Pa}$$

то есть:

$$\alpha_{\min} = 0,54 \cdot \beta_1 \cdot y_m$$

Выполнив условие б/ определяются значения  $p_1(0)$  и  $\alpha_e(0)$ . Из уравнения /8а/:

$$p_1(0) = p_t \cdot \frac{1}{1 + \frac{B^2}{1 + p_1(0)/p_o}} \quad /29/$$

определяются с помощью уравнения /11а/:

$$\alpha_e(0) = \beta_1 \cdot y_m \sqrt{\frac{B}{1 + \frac{B^2}{1 + p_1/p_o}}} \quad /30/$$



Заменяя в уравнении /29/, уравнения /23/ и /30/ следующие:

$$p_{l \min}(0) = \frac{p_{to}}{1 + \frac{B^2}{(\sigma_1^x)^2} + \frac{B^2}{(\sigma_t^K)^2} \left( \frac{\beta_1 \cdot y_m}{a_{t \min}} \right)^2} = K \cdot p_{to} \quad /31/$$

где

$$K < 1$$

$$a_{t \min} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{1 + p_t/p_o}} \left( \frac{1 - K}{K} - \frac{B^2}{1 + K p_{to}/p_o} \right)^{-0,5} \quad /32/$$

Размер питающего канала реализуется только тогда,

$$\text{если} \quad B < \sqrt{\frac{1 - K}{K}} \sqrt{1 + K p_{to}/p_o} \quad /32a/$$

### Образование уровней сигналов на выходе соединителя

В результате процесса включения ходовая часть элементов перекинута с одного стабильного положения в другое. Во время включения начальное и конечное значение ходовой части:

$$y(t < 0) = 0$$

$$y(t > t_o) = y_m$$

/33/

Во время включения значения следующие:

$$y(t < 0) = y_m$$

$$y(t > t_o) = 0$$

/34/

Функция перемещения/времени обыкновенно получается из нелинейного квадратного дифференциального уравнения.

$$m = \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + K \frac{dy(t)}{dt} + c(y)y(t) = f[A_i p_i(t)] \quad /35/$$

$m$  = масса ходовой части [kg]

$K$  = коэффициент затухания [Ns/m]

$c(y)$  = нелинейная постоянная пружины [N/m]

$A_i$  = эффективная площадь мембраны или сечение канала [m<sup>2</sup>]

$p_i(t)$  = давление в камере элемента. [Pa]

Функция  $y(t)$  определяется обыкновенно путем моделирования с по-

мощью аналоговой или цифровой вычислительной машины [2,8] с учетом пневматических сопротивлений и емкостей элемента.

Время переключения /механическое/ кодовой части элемента определяется с помощью приближенной формулы [3] :

$$t_o \approx \sqrt{\frac{2hM}{p_K^o S_e}} \quad /36/$$

- $h$  - перемещение/соответствует  $y_m/[m]$
- $M$  - масса ходовой части  $[kg]$
- $p_K^o$  - уровень давления включения  $[Pa]$  появляется в форме скачкообразной функции
- $S_e$  - эффективная площадь мембраны  $[m^2]$  .

Диапазон времени механического переключения с учетом конструктивных данных элементов на рис. 1. - следующий:

$$0,14 ms < t_o < 1,22 ms$$

Процесс логического переключения во время  $t=t_o$  не совершается, наполнение внутренних камер и выходной нагрузочной емкости продолжается, и наполняются воздухом питания до давления нижнего предела логического диапазона "1". Во время включения емкости опоражниваются до давления меньше чем высший предел логического диапазона "0".

В зависимости от связи сопротивлений и емкостей определенных с выходной нагрузкой  $RC$  и внутренними размерами элемента, метод образования уровней логических сигналов относится к 3 типам /рис. 4/. В схеме процесс переключения  $y(t)$  линеаризированный и  $\alpha_2=0$  .

а/ Параметры сопротивления и емкости соизмеримые. Во время механического переключения наполнение и выгрузка выходной нагрузки продолжается и два процесса смешиваются /кривые типа а/.

б/ На выходную нагрузку  $\alpha_2 \leq \beta_1 y_m$  или  $\beta_0 y_m$  . В этом слу-



чае характеристики с  $\beta \approx 0$  /закрытый выход/ до времени  $t_0$  справедливы на элемент. Выходная емкость  $C_2$  наполняется или опорожняется в области времени  $t > t_0$  /кривые типа b /.

в/ На выходную нагрузку  $\alpha_2 \gg \beta_1 y_m$  или  $\beta_0 y_m$  и  $C_2 \gg C_1$  /рис. 2б/ во время включения открытие характеристики относится до времени  $t_0$ .

Во время выключения  $G_t(x)=0$ , потому что давление  $p_2(0)=p_t$  сохраняется с большой емкостью  $C_2$  до времени  $t_0$  /кривые типа c /.

Время появления на выходе актуального логического уровня сигнала в случае  $t > t_0$  зависит от сопротивлений каналов на питающей стороне и на стороне сброса.

Постоянные времени  $T_i$  определяются со знанием пневматических сопротивлений  $R_i$  и нагрузочных емкостей  $C_2$  /рис. 5/.

$$T_i = R_i \cdot C_2 \quad /27/$$

Элемент и его нагрузка считаются замедляющим пропорциональным звеном первого порядка.

Если  $t > t_0$ :

$$\alpha_T = \beta_1 y_m \quad \alpha_2 = \beta_0 y_m$$

Динамическое пневматическое сопротивление наполнения:

$$R_T = \frac{\delta(\Delta p)}{\delta G_t} = f_T \left[ \frac{K_1}{\alpha_T^2} + \frac{K_2}{\alpha_2^2} \right] = f_T \cdot \left[ \frac{K_1}{(\beta_1 y_m)^2} + \frac{K_2}{\alpha_2^2} \right] \quad /38/$$

где  $K_1$  и  $K_2$  постоянные рабочей тоски.

Динамическое пневматическое сопротивление разгрузки емкости  $C_2$ :

$$R_L = \frac{\delta(\Delta p)}{\delta G_o} = f_L \left[ \frac{K_3}{(\beta_0 y_m)^2} + \frac{K_4}{\alpha_2^2} \right] \quad /39/$$

где  $K_3$  и  $K_4$  постоянные рабочей точки.

Если нагрузка элемента  $\alpha_2 \gg \beta_1 y_m$  или  $\beta_0 y_m$ , тогда время включения и выключения в первую очередь определяются проводимостями каналов питающей стороны и стороны сброса.

Технологический синтез соответствует, на месте соединения к питанию и сброса элемента, встройке дополнительных пневматических соединений /сброс осуществляется через монтажную панель/. Так сопротивления  $R_T$  и  $R_L$  больше станут и значительно отличаются друг от друга после построения логической системы. Эта асимметрия динамических факторов является сигналами состязания.

### Заключение

Техническим синтезом пневматических логических систем - созданием аппаратуры с элементами - логическая и питающая сеть тесно связывается. Применение современного монтажа фрезерованного канала дает возможность соизмерением воздухопроницаемости питающих проводов и элементов, поэтому пользователи, получающие питание с неидеального генератора давления, статические и динамические характеристики элементов изменяются. Это явление с точки зрения создания сети невыгодное, потому что это станет источником сигналов состязания. Определение и соблюдение ограничивающих факторов питающей сети дают возможность содержать логические уровни сигналов и времени переключения в данном диапазоне. Таким образом возможность ошибок в системе, построенной на базе логического синтеза, уменьшается.



ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bacsó Nándorné: Pneumatikus áramköri hazardok  
MTA SzTAKI Tanulmányok 1976/44.  
Budapest
- [2] Sas G., Szép E.: A TRIMELOG pneumatikus logikai  
alapelem konstrukciós vizsgálata  
Mérés és Automatika XVII.évf. 1969.  
2.szám
- [3] Фудим, Е.В.: Пневматическая вычислительная техника  
Изд-во "Наука" Москва, 1973.
- [4] Стемпневска, Й.: Вопросы надежности струйных логических  
схем управления, связанных с подводом  
питающего воздуха.  
У1. Международная конференция, "Струй-  
ная техника", Москва, 1976, А16
- [5] Bacsó P., Kovács Gy., Marton J.: Computer Aided Design  
Methods in Pneumatics 7th Cranfield  
Fluidics Conference Fl Stuttgart 1975.
- [6] Геренчер П., Шам Г.: Исследование динамических характе-  
ристик сети питания пневматических сис-  
тем на мембранных элементах  
У1. Международная конференция, "струй-  
ная техника" Москва, 1976.
- [7] Идельчик : Гидравлические сопротивления Госэнерг-  
издат, Москва, 1954.
- [8] Геренчер П.: Вопросы динамического расхода усилите-  
лей мощности дискретного действия.  
Советско-венгерский семинар по флуиди-  
ке Москва 1975.
- [9] Залманзон, Л.А.: Проточные элементы пневматических при-  
боров контроля и управления, Изд-во  
Академии наук СССР, Москва, 1961

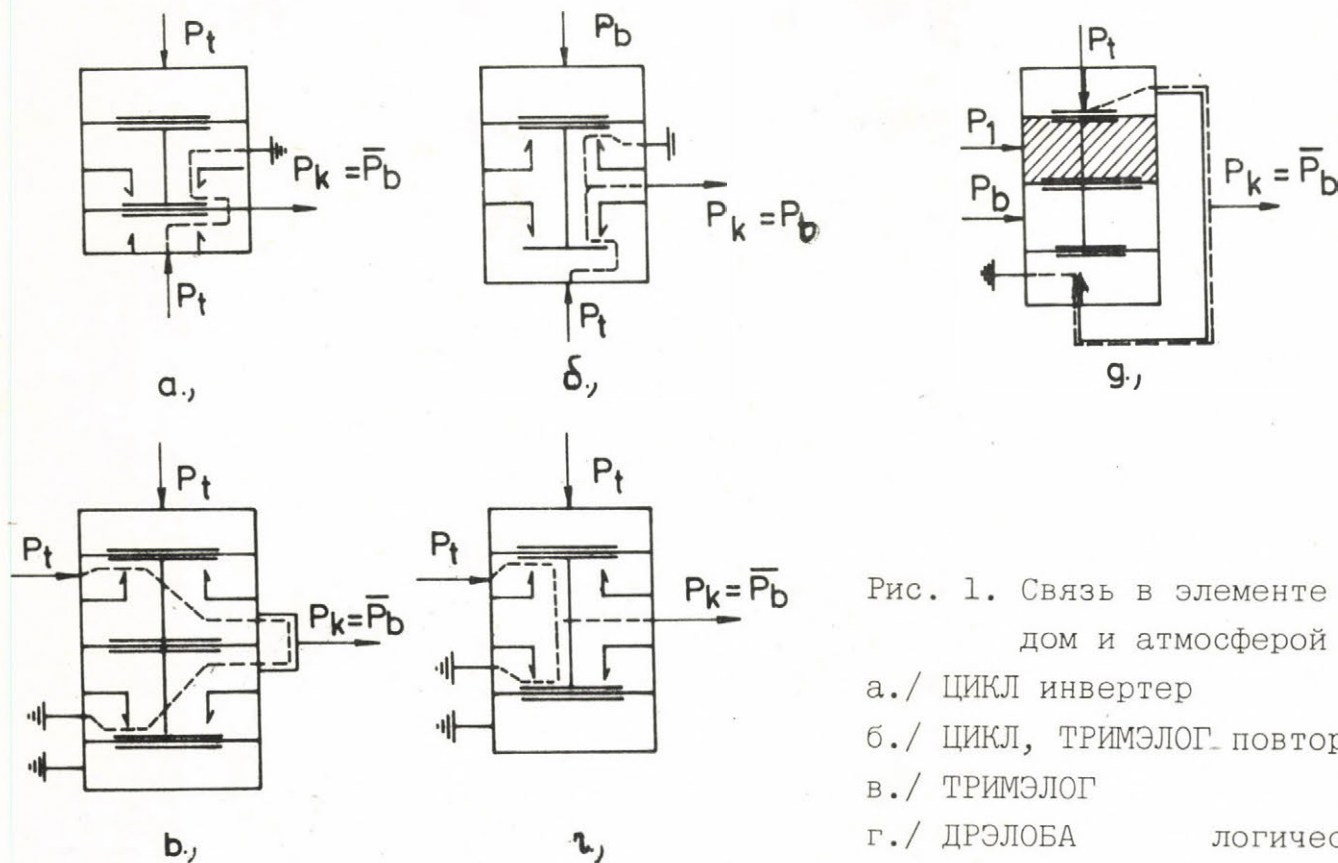


Рис. 1. Связь в элементе между питанием, выходом и атмосферой

- а./ ЦИКЛ инвертер  
 б./ ЦИКЛ, ТРИМЭЛОГ повторитель  
 в./ ТРИМЭЛОГ  
 г./ ДРЭЛОБА  
 д./ УСЭППА

усилители

логические элементы

$P_b$  - сигнал управления  
 $P_k$  - выходной сигнал  
 $P_t$  - давление питания  
 $P_I$  - подпор





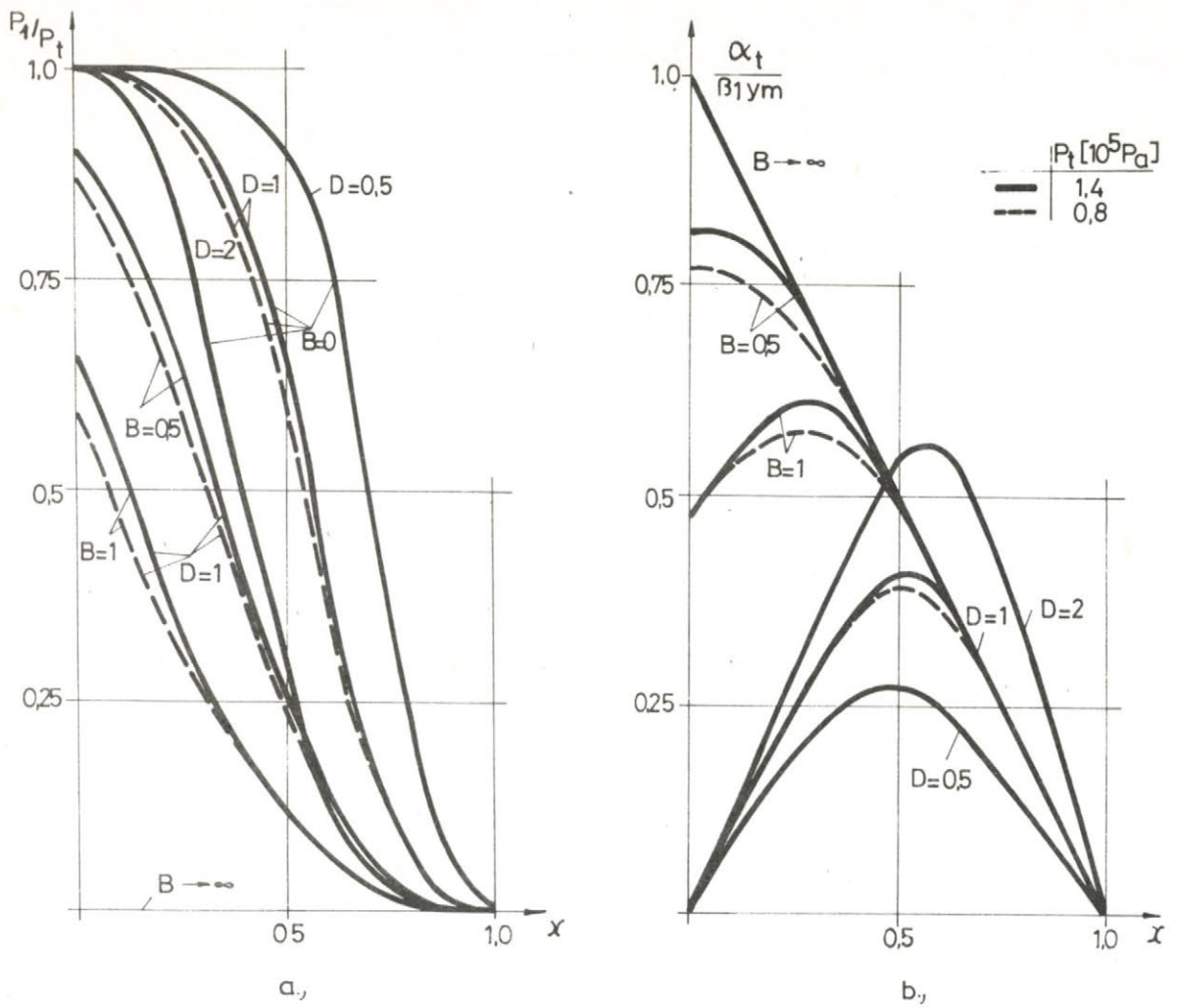


Рис. 3. Характеристики а./ выходного давления, б./ проводимости элемента по  $x$ - $y$ . Параметры:  $B$ ,  $D$ ,  $P_t$ .



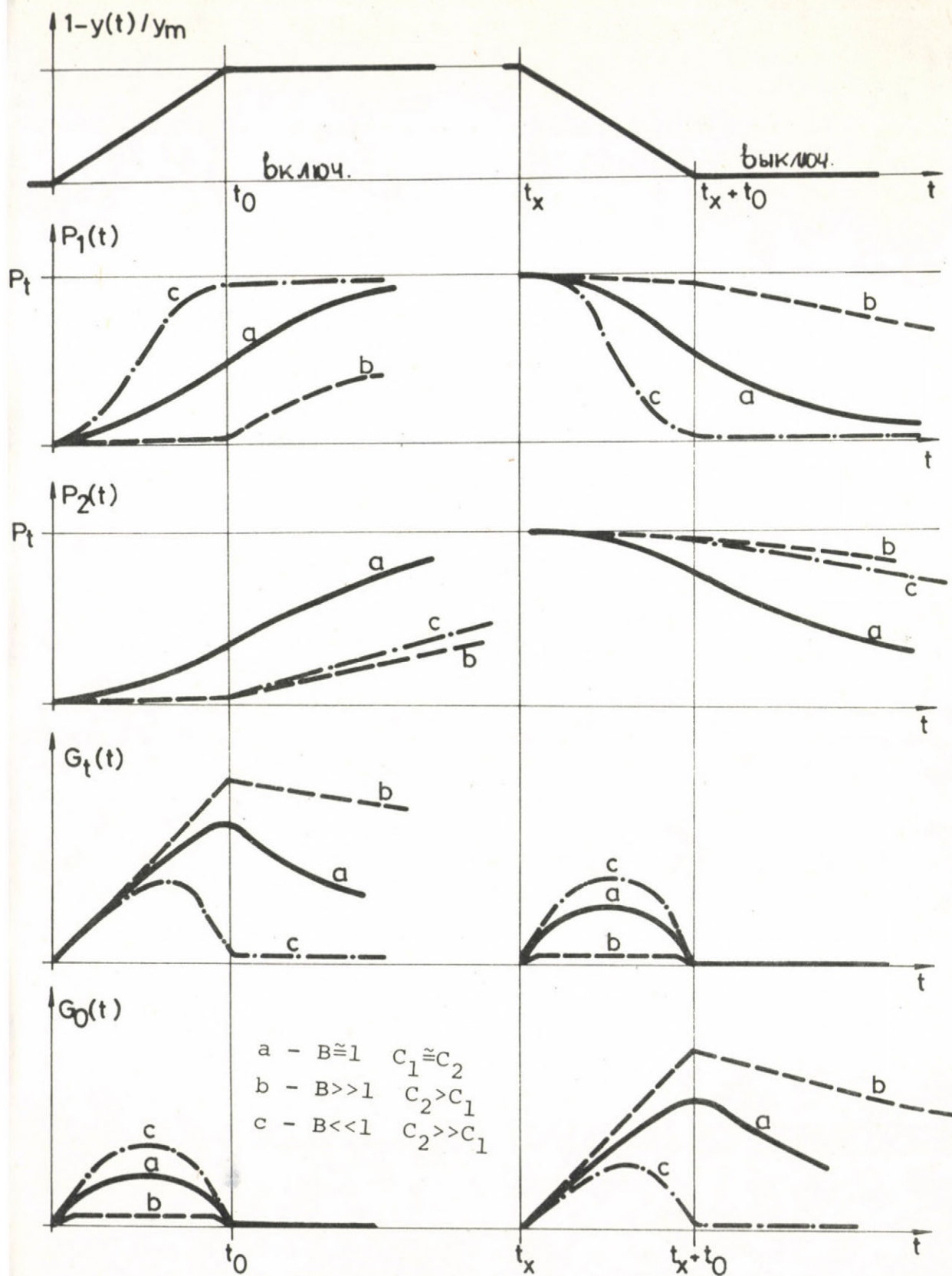
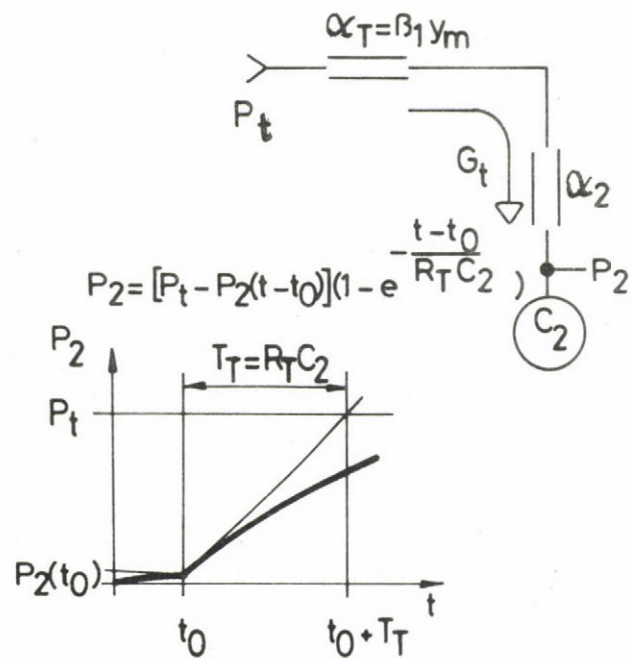
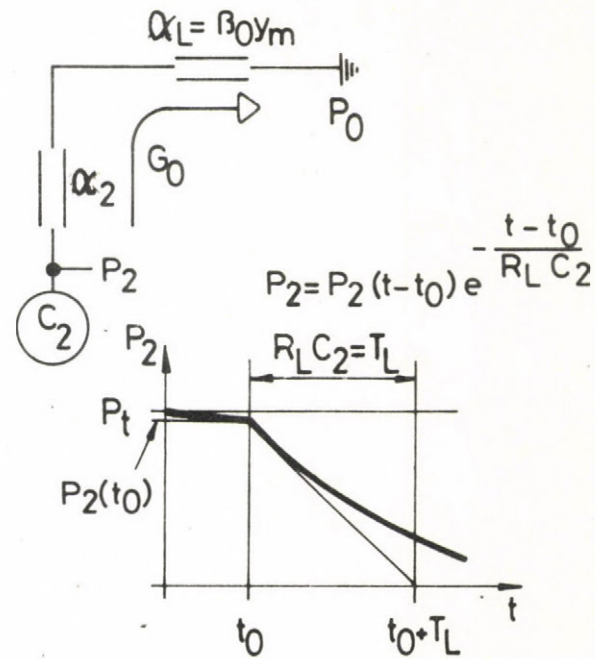


Рис. 4. Давления и расходы в элементе при переключении



а,



б,

Рис. 5. Накопление и опорожнение нагрузки элемента  
 а./ включение  
 б./ выключение элемента

## Передача пневматических сигналов по проводам линий связи.

М.Е. Лимонова и В.И. Чернышев

Институт проблем управления /СССР/

Традиционной областью применения пневмоавтоматики являются объекты химии и нефтехимии - взрывоопасные производства.

До недавнего времени пневматика в основном использовалась в качестве регулирующей техники и лишь с появлением пневматических агрегатных комплексов появилась возможность строить большие автоматизированные системы управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности /военной, авиационной, медицинской, пищевой, текстильной, машиностроительной и т.д./.

В связи с этим возникла задача обеспечения удобной быстродействующей связи пульта или щита с функциональными блоками, осуществление дистанционного управления объектом, связи электронных управляющих устройств с объектом управления, снабженными пневматическими управляющими устройствами и т.д.

Ограничения, которые накладывает пневматика на решение этой задачи состоят в следующем:

1/ пневматические каналы связи имеют ограниченную дальность передачи сигнала, обычно не превышающую 300 м;

2/ чрезвычайно низкую скорость передачи, например, время запаздывания при передаче одиночного сигнала на расстояние в 300 м составляет 6-8 сек.;



3/ отсутствие удобных органов управления - кнопок, тумблеров, многопозиционных переключателей клавишных устройств и т.д., а также надежных механических средств представления информации, цифросинтезирующих индикаторов;

4/ сами каналы связи чрезвычайно громоздки.

Наиболее эффективным решением этой задачи было бы осуществление передачи пневматических сигналов по проводам линии связи с сохранением главного достоинства пневматики - пожаро-взрывоопасности.

Передача пневматических сигналов по проводам линии связи даст возможность использовать электрические средства управления /кнопки, тумблеры и т.д./, представления информации /жидко-кристальные индикаторы/, а также электрические инерционные звенья /сопротивления, конденсаторы/.

Отказ от централизованных электрических источников питания, замена их "микро" источниками такими, при которых уровень энергии, циркулирующей в замкнутом контуре, обеспечит пожаро-взрывобезопасность передачи.

Широкое развитие пьезокерамических материалов, особенно выполненных на базе цирконато-титоната свинца, позволило выявить наиболее перспективный способ передачи дискретных пневматических сигналов с использованием пьезокерамических элементов на передающем и приемном концах линии.

Передатчик содержит амплитудный модулятор, превращающий потенциальный пневматический сигнал, заданный в виде давления  $P$  в переменный пневматический сигнал  $P_{\omega}$ .

Пневматический переменный сигнал  $P_{\omega}$  преобразуется с помощью пьезокерамического преобразователя в переменное электрическое напряжение  $U_{\omega}$ .

На рис. 1 приведена принципиальная схема устройства передачи. Устройство содержит передатчик 1, приемник 2 и линию связи 3.

Однако, такая схема передачи обладает принципиальным ограничением на скорость передачи сигнала. Это ограничением на скорость передачи сигнала. Это ограничение объясняется тем, что при чрезвычайно низкой мощности сигнала в линии связи /обусловленной соображениями пожаро-взрывоопасности/ шунтирующее сопротивление сравнительно велико, поэтому на входных клеммах приемника происходит медленное во времени падение напряжения. С целью устранения указанного принципиального недостатка предложены схемы с изменяемым шунтирующим сопротивлением.

Один из вариантов таких схем приведен на рис. 2. Устройство содержит два передатчика 1, линию связи 3, приемник 2, инвертор 5 и управляемый клапан 4 /рис. 2./. В период существования входного сигнала  $P_{вх.}$  приведенная схема работает аналогично описанной ранее /рис. 1./. В момент исчезновения входного сигнала  $P_{вх.}$  по его заднему фронту, через инвертор поступает сигнал на вход амплитудного модулятора, который выдает серию пневматических импульсов  $\Gamma_1$  в паузах между входными сигналами  $P_{вх.}$ . Эти импульсы преобразуются в электрические  $\bar{Y}_1$  выпрямляются и поступают на управляющий электрод клапана 4. При достижении определенного значения  $\bar{Y}_2$  сопротивление клапана 4 резко падает и происходит разрядка контура линии связи, что приводит к резкому уменьшению напряжения на входных клеммах приемника. Следует отметить, что все время существования нулевого значения входного сигнала линия связи шунтирована весьма небольшими сопротивлениями.

В описанных схемах передачи целесообразно из соображений пожаро-взрывобезопасности снижать значение напряжения на выходе передатчика. Однако, снижение напряжения требует увеличения чувствительности приемника, что не всегда выполнимо.



Противоречивая ситуация может быть разрешена с помощью схемы рис. 3. При реализации этой схемы передающее устройство выполнено с применением последовательно включенных пневматического амплитудного модулятора, пневмоэлектрического преобразователя и выпрямителя. Приемное устройство содержит амплитудный модулятор, пневмоэлектрический преобразователь, коммутатор выполненный, например, с применением полевых триодов и электропневматический преобразователь. Напряжение, полученное на выходе выпрямителя через коммутатор подведено к клеммам электропневматического преобразователя во все время работы устройства, таким образом амплитудный модулятор, пневматический преобразователь и выпрямитель выполняют роль источника питания. В приведенном устройстве передатчик непосредственно не управляет приемником, а воздействует на коммутатор. Указанное обстоятельство позволяет понизить напряжение в линии связи не увеличивая чувствительности приемного устройства.

Предложенные преобразователи и схемы их включения позволили обеспечить дальность передачи пневматического сигнала до 1 км, при частоте следования импульсов до 5 гц, при напряжении на выходных клеммах передатчика до  $U=20$ в для устройств передачи, приведенной на рис. 2 и до  $U=5$ в - на рис. 3.



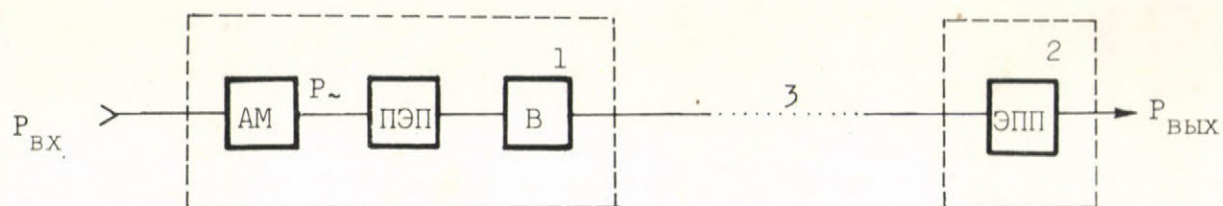


Рис. 1.

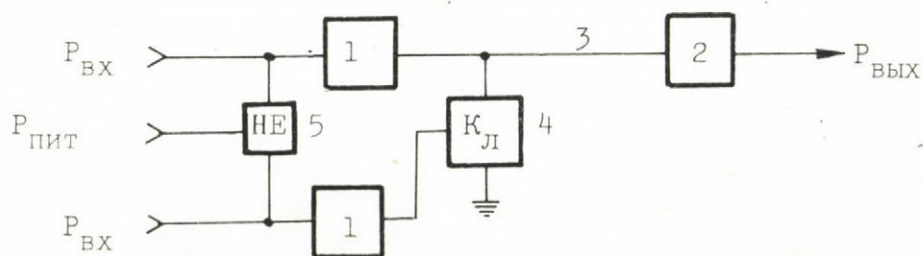


Рис. 2.

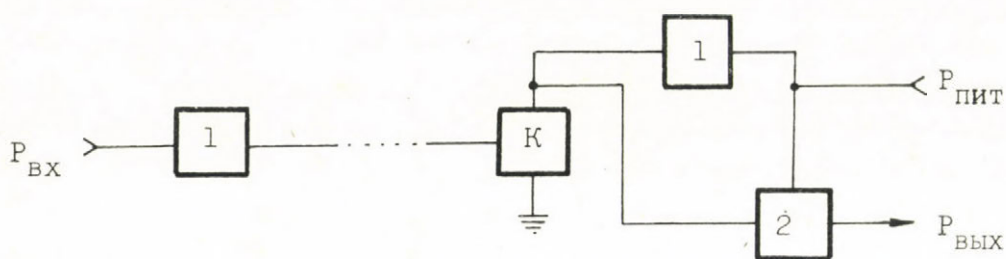


Рис. 3.



# ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРУЙНОЙ АВТОМАТИКЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ СТРУЙНЫХ УСТРОЙСТВ

проф., д.т.н. Залманзон Л.А.

Институт проблем управления АН СССР

Рассматриваются вопросы использования элементов аэрогидродинамического действия для генерирования случайных сигналов и выполнения других операций при построении струйных стохастических устройств. В связи с тем, что струйные генераторы случайных сигналов начинают применяться и при изучении рабочего процесса струйных элементов обычного типа, дается краткий обзор принятых сейчас статистических методов исследования динамических характеристик.

В системах струйной автоматики обычно применяются элементы детерминированного действия, с помощью которых выполняются различные функции управления [1]. Вместе с тем исследования, которые провели В.Г. Шолохов, Т.В. Комиссарова, R. Massen, H.J. Tafel, P.A. Orner, J. Pill, K. Toyoda, I. Jimura, H. Natanaka /см. [2-9] / и другие специалисты, на работы которых делаются далее ссылки, показали, что в некоторых случаях может быть полезным использование в данной области техники управления и специально построенных стохастических струйных элементов, а также может быть полезным использование статистических методов для исследования динамики струйных устройств обычного вида.

В части, касающейся струйных стохастических элементов, задачами, поставленными при проведении настоящей работы было: проанализировать области их рационального применения; рассмотреть совместно описывающиеся ранее в отдельности принципы построения струйных генераторов случайных сигналов и выяснить



в какой мере широкий класс случайных процессов может воспроизводиться с их помощью; показать как с помощью струйных элементов может производиться автоматическое регулирование для стабильного поддержания заданной вероятности поступления двоичных случайных сигналов, получаемых в генераторе случайных сигналов, исследовавшемся Т.В. Комиссаровой. В отношении статистических методов изучения динамики струйных элементов и устройств ставилось целью: сравнить их со статистическими методами, используемыми при исследовании других устройств пневмогидроавтоматики и при исследовании различных объектов автоматического управления /см., например, [10, 11] /; дать краткий очерк общего состояния вопроса. Были поставлены также следующие задачи: указать при каких условиях может быть полезным использование струйной аппаратуры для определения характеристик случайных процессов и проиллюстрировать примерами возможные принципы ее построения; выяснить какие вопросы, относятся ко всей рассматриваемой области струйной техники автоматического управления, нуждаются в дальнейшем изучении. В следующих разделах указываются выводы, сделанные при проведении этих исследований.

#### Оценка областей рационального использования струйных стохастических элементов в технике автоматического управления

Проведенный анализ показал, что имеются следующие перспективные области применения струйных стохастических элементов:

1. Струйные генераторы случайных процессов целесообразно применять при воспроизведении в лабораторных автоматически управляемых испытательных установках различного вида случайных воздействий на реальные объекты управления и на устройства автоматики и целесообразно использовать их при исследовании шумов, возникающих при работе струйных элементов обычного типа.

2. Стохастические устройства, строящиеся на струйных и других проточных элементах, в некоторых случаях могут рациональным образом использоваться и при выполнении основных функций управления.

Остановимся на тех и других применениях более подробно.

Часто возникает необходимость в проведении лабораторных испытаний, при которых должны воспроизводиться случайные воздействия: действие неровностей дороги на поддрессоренную систему в транспортных машинах; действие порывов ветра на строительные сооружения; другие случайные воздействия, оказывающие влияние на эксплуатационные качества различных машин и сооружений, на их рабочие характеристики, усталостную прочность и т.п. При применении пневмо- и гидроприводов вместе с соответствующими системами автоматического управления может быть желательным, чтобы были также пневматическими или гидравлическими и генераторы случайных сигналов, так как такие генераторы сигналов более просто соединяются с приводными устройствами и не нужно использовать в установке различные источники энергии.

Изучение шумов, возникающих при работе систем струйной автоматики, и разработка мер к уменьшению их уровня имеет большое значение для струйной аналоговой техники /см. раздел в §4 гл. П в книге [1] и указанную в этом разделе литературу/. Является существенным и влияние, которое оказывают на работу струйных элементов шумы, генерируемые во внешней среде и во входных и выходных каналах. Для их воспроизведения при проведении экспериментальных исследований также могут использоваться генераторы случайных сигналов, схемы построения которых рассматриваются в следующем разделе. Для элементов струйной дискретной техники большое значение имеет изучение случайных задержек переключения при поступлении сигналов управления. Это является существенным, если иметь в виду работу устройств, в которых должна обеспечиваться согласованная по времени работа соединенных между собой элементов. При выводе струйных реле и элементов памяти на работу в режиме максимального быстрого действия вопросы задержек переключения становятся основными: от того устраняются ли случайные срывы потока и исключаются ли большие задержки в передаче сигналов зависит возможность достижения относительно больших значений частоты переключений,



при которых струйные элементы еще являются работоспособными. При работе на режимах, близких к режиму максимального быстрого действия, указанные выше обычные струйные элементы должны рассматриваться как стохастические и соответствующими должны быть подходы к изучению процессов их функционирования. Струйные генераторы случайных сигналов эффективно могут использоваться при изучении динамических характеристик струйных элементов различных типов.

Анализ применений струйных стохастических элементов, отнесенных ко второй из указанных выше групп, привел к следующим заключениям. Является целесообразным создание в системах струйной автоматики помехоустойчивых линий связи для передачи аналоговых сигналов, кодируемых методом стохастического кодирования, рассмотренным в работе [6]. Выполнение с помощью струйных стохастических элементов вычислительных операций /суммирование сигналов на основе использования теоремы сложения вероятностей, при применении струйного логического элемента ИЛИ, и получение произведения сигналов на основе использования теоремы умножения вероятностей, при применении струйного логического элемента И) для обычных систем струйной автоматики вряд ли является оправданным, так как не обеспечивается достаточно высокая точность выполнения операций и может быть практически сложным выполнение требований, которым должны удовлетворять входные сигналы /если для выполнения операции умножения достаточно, чтобы исходные случайные события были независимыми, то для выполнения операции сложения по простейшей схеме необходимо, чтобы они были и несовместимыми/. Вопрос о таком использовании струйных стохастических элементов в системах управления, работающих при нормальных условиях, является дискуссионным [5, 4]. Однако и такое и другие применения струйных вычислительных стохастических элементов целесообразны при работе устройств управления в условиях, при которых создаются столь интенсивные шумы и помехи, что оказывается невозможной работа элементов обычного типа. Одной из перспективных областей применения струйных стохастических элементов являются пневматические



поисковые системы, работающие по принципу случайного поиска /возможность реализации средствами струйной автоматики стохастических поисковых систем показана В.Г. Шолоховым/.

### Струйные генераторы случайных сигналов

Схемы построения струйных генераторов случайных сигналов приведены на рис. 1. На рис. 1,а изображен элемент, использованный В.Г. Шолоховым при исследовании возможности использования струйных элементов в устройстве, реализующем алгоритм случайного поиска. Профильная вставка здесь такого же вида, как и в струйных элементах, описанных в [12]. В.Г. Шолохов показал, что перемещая вставку в направлении, показанном на рисунке стрелками, можно установить ее в положение, при котором отрыв потока от стенки и его примыкание к стенке происходят случайным образом, причем распределение вероятности числа переключений для заданного интервала времени следует закону Пуассона. На этой и на следующих позициях рис. 1:  $p_0$  - давления питания струйного элемента,  $p_1$  - выходное давление.

Показанный на рис. 1, в струйный элемент может в принципе быть использован, как было показано Т.В. Комиссаровой, для получения случайных двоичных сигналов [2, 3, 4]. Элемент работает следующим образом: при последовательном многократном создании и снятии давления  $p_0$  вытекающая из сопла струя при соответствующей настройке элемента, осуществляемой путем создания давления  $p_2$  в канале управления, случайным образом примыкает к нижней или к верхней стенке, причем в первом случае создается /сигнал "1"/, а во втором отсутствует /сигнал "0"/, давление  $p_1$  в выходном канале. Опыты, проведенные Т.В. Комиссаровой, показали, что вероятность  $P$  поступления сигналов "1" изменяется в функции от давления настройки  $p_2$  следующим образом:  $P = C_1 - C_2 p_2$ . При каждом значении  $p_0$  величина  $p_2$ , при которой получается данная вероятность  $P$ , может быть малой или сколь угодно большой в зависимости от степени дросселирования канала настройки, и соответствующим образом при этом изменя-

ются коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ . Это является удобным, так как можно использовать при необходимости различные давления настройки. Особый интерес представляет получение по этой схеме двоичных случайных сигналов, появляющихся с равной вероятностью ( $P=0,5$ ), так как используя эти сигналы можно, также как это делается в электронной вычислительной технике, строить различные стохастические устройства. В качестве примера в работе [ 4 ] приведена схема построения на элементах пневмоники генератора случайных двоичных чисел  $a_n \dots a_2 a_1$ , где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  случайным образом принимают значения "1" или "0". С помощью струйных элементов, как было отмечено в [4], можно получать и последовательности псевдослучайных чисел с большей скоростью, чем это делается при использовании других пневматических элементов /см. [13] /.

На рис. 1, с изображен струйный генератор случайных сигналов, который P.A. Orner использовал для экспериментального определения статистического метода частотных характеристик струйных пропорциональных усилителей, серийно выпускаемых фирмами Aviation Electric и Corning [8]. Он представляет собой простейший струйный элемент типа сопло-приемный канал, помещенный в камеру. В качестве источника случайных сигналов здесь используются естественные турбулентные пульсации давления. Типичная характеристика спектральной плотности  $S(w)$  сигнала, получаемого на выходе такого элемента, имеет в диапазоне частот  $w = 0-1$  кГц участки, на которых величина  $S(w)$  резко изменяется с изменением  $w$ , и участки в диапазоне  $w = 1-2$  кГц, на которых изменение  $S(w)$  менее резкое <sup>1/</sup>.

На рис. 1, d представлен струйный генератор случайных сигналов, который K. Toyota, I. Jimura и H. Hatanaka применили для определения статистическим методом частотных характе-

---

<sup>1/</sup> Об определении спектральной плотности см. далее в разделе о статистических методах исследования динамических характеристик струйных элементов и устройств.



ристик различных элементов пневмоники: струйного пропорционального усилителя, пневматической камеры с дросселем, коммуникационных каналов [9]. В этом генераторе случайных сигналов имеются два сопла, в общем случае несоосных, на входе в которые создаются давления  $p_{o1}$  и  $p_{o2}$  и имеется перпендикулярно по отношению к осям сопел расположенный приемный канал, соединенный с длинной трубкой и имеющий выходной отросток. Особенностью этого генератора случайных сигналов является то, что он позволяет получать сигналы вида белого шума, для которых  $S(w) = \text{const}$  /получены такие сигналы для диапазона частот  $w = 0-1$  кГц/ и то, что изменяя положение сопел и меняя давления  $p_{o1}$  и  $p_{o2}$  можно в широких пределах варьировать параметры, характеризующие получаемые сигналы.

Возможности использования флуктуаций струйных течений для получения простым образом случайных сигналов различного вида не ограничиваются вышесказанным. С помощью струйных элементов могут генерироваться случайные величины, имеющие самые различные законы распределения плотности вероятности. Например, в обычных струйных элементах дискретного действия, работающих с отрывом потока от стенки, таких как показанный на рис. 1, е плотность вероятности времени задержки переключения /при импульсном создании давления  $p_2$  в канале управления, когда поддерживается постоянное давление питания  $p_o$ , распределена, как показывают экспериментальные исследования, по закону Вейбулла [14, 15, 16]. Часто приходится встречаться для сигналов, генерируемых струйными устройствами, с нормальным гауссовским распределением, в связи с тем, что формирование сигнала происходит в результате естественного действия ряда независимых первичных случайно изменяющихся факторов, причем первичные случайные величины сравнимы между собой по порядку величины дисперсии. При необходимости искусственного перехода от независимых случайных величин, имеющих произвольные законы распределения, к случайной величине, имеющей нормальный закон распределения, такой переход может производиться путем соединения по показанной на рис. 1, f схеме группы струйных генерато-



ров первичных случайных сигналов с выполняющими операцию ИЛИ струйными логическими элементами.

Указанные выше струйные генераторы случайных сигналов могут использоваться при моделировании работы многих технических устройств. Из изложенного выше следует, что с помощью струйных элементов могут получаться случайные сигналы различных видов.

#### Регулятор струйного генератора случайных двоичных сигналов

При использовании изображенного на рис. 1, б струйного элемента в качестве генератора равновероятных или появляющихся с другой вероятностью двоичных сигналов, заданная вероятность появления "1" и "0" обеспечивается лишь при условии, что сохраняется строго постоянным давление настройки  $p_2$ , причем последнее должно быть согласовано с амплитудным значением входных импульсов давления  $p_0$ . Если с течением времени изменяются величины  $p_0$  и  $p_2$ , то вероятность получения двоичных сигналов "1" и "0" будет меняться. То же самое может быть при оседании на нижней наклонной стенке камеры элемента пыли или других частиц, выпадающих из струи, а также и в связи с действием других факторов. Стабилизация заданной вероятности получения сигналов может быть достигнута в процессе длительной работы путем автоматического регулирования, осуществляемого, например, по схеме, представленной на рис. 2, а. Струйным генератором колебаний 1 генерируются импульсы давления, поступающие на вход струйного элемента 2, такого же, как показанный на рис. 1, б, которые с выхода элемента 2 передаются к струйному триггерному счетчику 3. Импульсы давления от генератора колебаний 1 через струйный триггер со счетным входом 4, выполняющий функции делителя частоты на два, поступают к другому струйному триггерному счетчику 5 /рассматривается схема стабилизации получения равной вероятности следования сигналов "1" и "0"; если бы нужно было получать сигналы "1" с вероятностью в два раза меньшей, чем сигналы "0", следовало бы вместо одного триггера со счетным входом 4 последовательно включить два таких триггера



и т.д./. В блоке 6 сравниваются показания счетчика 3 и 5: истинная частота поступления сигналов "1" сравнивается с заданной. С выхода блока 6, в котором имеются и элементы управления работой блока, пневматические цифровые сигналы, отражающие знак и величину рассогласования между указанными частотами, передаются через цифроаналоговый преобразователь 7 к исполнительному устройству 8 регулятора, которое изменяет величину давления  $p_2$  так, чтобы обеспечивалось равновероятное формирование струйным элементом 2 сигналов "1" и "0". Формирование и передача управляющего воздействия производится циклически. Период работы задается струйным генератором колебаний 9. Последний по окончании каждого периода выдает сигнал, по которому нужным образом изменяется величина  $p_2$  и затем автоматически производится установка счетчиков на нуль, что необходимо для того, чтобы мог начаться следующий цикл работы. Импульсы давления с выхода элемента 2 передаются через струйный релейный элемент 10 в выходной канал 11. Изменяя давление в канале 12 или меняя настройку дросселя 13 можно получать с заданной вероятностью выходные сигналы любого уровня, что практически невозможно при использовании только лишь одного струйного элемента 2, так как в последнем изменение давления  $p_0$  потребовало бы каждый раз коррекции давления  $p_2$ , без которой изменялась бы вероятность появления выходных сигналов "1" и "0". На рис. 2, в показан упрощенный вариант регулятора, отличающийся тем, что отсутствует цифроаналоговый преобразователь и дискретные сигналы "1" или "0", получаемые на выходе блока сравнения, прямо передаются к исполнительному устройству, которое здесь содержит вихревой струйный элемент и пневматическую камеру.

Статистические методы исследования динамических характеристик струйных элементов и устройств. Методы исследования прохождения случайных сигналов через элементы системы струйной автоматики.

Подходы к изучению статистическими методами динамики струйных элементов и устройств могут быть различными. Однако,



специфическим является лишь использование тех или других типов струйных генераторов случайных сигналов, схемы построения которых были рассмотрены выше /см., например, работы [8, 9] /.

В остальном же методика исследования такая же, как и для объектов других видов /см. [10, 11] /. Могут быть различия в зависимости от того, какие экспериментальные данные принимаются за исходные /что связано с видом применяемой испытательной аппаратуры/ и как они используются для получения искомых характеристик. Во всех случаях опытным путем находятся корреляционные функции или спектральные плотности сигналов. Для входного сигнала  $x(t)$  /см. рис. 3, на котором показаны : 1 - входной канал; 2 - исследуемый элемент или система элементов; 3 - выходной канал/ определяется его автокорреляционная функция

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t-\tau)dt, \text{ где } \tau - \text{величина сдвиг}$$

га по времени,  $T$  - интервал времени, на протяжении которого производятся измерения; теоретически  $T \rightarrow \infty$ , практически же на протяжении конечного  $T$  производится достаточно большое число измерений, при которых находятся для каждого из выбранных моментов времени  $t$  величины произведений  $x(t)x(t-\tau)$  и при их суммировании и делении затем суммы на число таких произведений, полученных при каждой величине  $\tau$ , находится приближенное значение  $R_x(\tau)$ . Аналогично определяется для выходного сигнала  $y(t)$  его автокорреляционная функция

$$R_y(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)y(t-\tau)dt$$

и определяется характеризующая корреляционную связь между  $x(t)$  и  $y(t)$  взаимная корреляционная функция

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t-\tau)dt.$$

Спектральная плотность, или по другому энергетический спектр, является косинус-преобразованием Фурье для соответствующей корреляционной функции. Например, для сигнала  $x(t)$  спектральная плотность

$$S_x(w) = 2 \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos w\tau d\tau, \text{ где } w - \text{частота.}$$

С другой стороны,

$$R_X(\tau) = \frac{1}{\pi} S_X(w) \cos \tau w dw$$

С помощью последних формул просто производится переход от  $R(\tau)$  к  $S(w)$  или наоборот, от  $S(w)$  к  $R(\tau)$ . Например, для корреляционной функции вида  $R(\tau) = Ae^{-a|\tau|} \cos b\tau$  интегрирование дает

$$S(w) = A\{2a(a^2+b^2+w^2)/[w^4+2(a^2-b^2)w^2+(a^2+b^2)^2]\};$$

также получаются и выражения  $S(w)$  для корреляционных функций другого вида.

Располагая указанными выше характеристиками получают следующие данные, необходимые для суждения о динамических свойствах исследуемых элементов и устройств. Достаточно располагать лишь каким либо из них для того, чтобы можно было легко получить и другие. Это во-первых, дифференциальное уравнение, описывающее переходные процессы в рассматриваемом устройстве:  $D(p)y(t) = K(p)x(t)$ , где  $D(p)y(t)$  и  $K(p)x(t)$  соответственно сокращенная операторная запись левой и правой части дифференциального уравнения /предполагается, что процесс может быть описан линейным дифференциальным уравнением,  $D(p)$  и  $K(p)$  полиномы от  $p$ ,  $p$  - оператор дифференцирования/. К числу исходных данных относится и передаточная функция  $W(s) = K(s)/D(s)$ , представляющая собой отношения лапласовых изображений  $y(t)$  и  $x(t)$  при нулевых начальных условиях, которая получается из указанного выше дифференциального уравнения при замене в  $D(p)$  и  $K(p)$  обозначения  $p$  на  $s$ , где  $s$  - комплексная переменная<sup>1/</sup>. При замене  $s$  на  $jw$ , где  $j = \sqrt{-1}$  и  $w$  - частота, получается  $W(jw)$  - выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики. Из характеристик изменения выходной координаты  $y$  по времени  $t$  определяющими являются временная характеристика  $f(t)$ , получаемая при ступенчатом скачкообразном изменении при  $t = 0$  входной координаты  $x$  от 0 до 1, и так называемая весовая функция

<sup>1/</sup> О преобразовании Лапласа и его свойствах, используемых в теории аэрогидродинамических систем автоматического управления см. в 1, стр. 173, 370.



или по другому импульсная переходная характеристика  $g(t) = df(t)/dt$ , получаемая дифференцированием  $f(t)$  по времени. Характеристика  $g(t)$  по другому определяется как переходный процесс для  $y$ , получаемый при измерении  $x$  по закону идеального импульса единичной мощности /  $\delta$  - функция Дирака/; передаточная функция  $W(s)$  представляется как лапласово изображение реакции на указанный выше идеальный импульс.

Какие либо из указанных данных, а по ним и другие, получаются при следующей обработке полученных из опыта характеристик корреляционных функций или характеристик спектральной плотности. При принятии для стационарных и стационарно-связанных случайных функций  $x(t)$  и  $y(t)$  за исходные для последующего анализа корреляционных функций  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$ , весовая функция находится как решение интегрального уравнения Винера-Хопфа

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(t) R_x(t-\tau) dt \quad \text{для } \tau \geq 0 \text{ и } g(t)=0 \text{ при } t < 0 /$$

или уравнения Фредгольма 1-го рода

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(t) R_x(t-\tau) dt \quad \text{для } -\infty < \tau < \infty /,$$

которые при указанных в [11] условиях сводятся к уравнению Вольтерра 1-го рода, решаемому в помощь преобразования Лапласа. Однако, практически решение производить не нужно, т.к. можно пользоваться указанным в работах [11, 17, 18] методом типовой идентификации: по раз и навсегда составленным таблицам с различными графиками типовых  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$  без каких либо вычислений, кроме пересчета масштабов, определяются общие выражения передаточной функции, весовой функции и дифференциального уравнения исследуемого объекта и затем определяются и численные значения их коэффициентов. Для получения более точных данных кроме корреляционных функций  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$  используется также и функция  $R_y(\tau)$ . Если исходными являются определяемые из опыта спектральные плотности  $S_x(\omega)$   $S_y(\omega)$ , то по ним выражение модуля  $|W(j\omega)|$  амплитудно-фазовой частотой характеристики находится следующим образом:

$$|W(j\omega)| = \sqrt{S_y(\omega)/S_x(\omega)} \quad .$$

Определение таким образом  $|W(jw)|$  еще более упрощается в тех случаях, когда входным сигналом является белый шум - стационарный случайный процесс, при котором не имеется корреляционной связи между значениями аргумента; для такого сигнала автокорреляционная функция с точностью до постоянного коэффициента равна  $\delta$  - функции, а спектральная плотность  $S_x(w) = \text{const}$ .

Обратной по отношению к указанной выше является задача исследования прохождения случайных сигналов через элементы и устройства системы управления. Если исходными являются характеристики  $S_x(w)$  и  $|W(jw)|$ , то находится  $S_y(w) = |W(jw)|^2 S_x(w)$ . Это дает возможность определить и другие характеристики выходного сигнала. Например, среднее квадратичное значение величины  $y$  находится планиметрированием площади, ограниченной кривой  $S_y(w)$  и осью  $w$  при  $0 < w < \infty$ :

$$\bar{y}^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(w) dw.$$

Аналогичным образом в части, касающейся случайных сигналов, проводятся исследования и при решении задач фильтрации, когда стремятся обеспечить прохождение по возможности без затухания основных сигналов и отфильтровать от них шумы или же сделать так, чтобы шумы генерировались только в заданном диапазоне частот /о методах фильтрации сигналов в струйных системах см. [19]/.

Перспективы применения струйных и других проточных элементов при создании аппаратуры для определения характеристик случайных процессов.

Существует хорошо разработанная электронная аппаратура для определения характеристик случайных процессов [20]. Она может использоваться как при проведении исследований, так и в составе систем автоматического управления, при работе которых производятся анализ и преобразование случайных сигналов. С помощью элементов аэрогидродинамического действия не представляется возможным выполнять те же функции при таком объеме обрабатываемой информации и с такой скоростью, какие возможны для электронной техники. Поэтому представляется целесообраз-



ным применение рассматриваемых здесь элементов в аппаратуре, служащей для определения характеристик случайных процессов, только в специальных случаях, когда применение электронных устройств является нерациональным или невозможным. Например, в некоторых случаях может дать преимущества применение осуществляющих обработку инфранизкочастотной информации пневматических корреляторов, предназначенных для работы вместе с пневматическими датчиками технологических параметров в системе автоматического управления медленно протекающими производственными процессами; делались попытки построения таких корреляторов на пневматических мембранных элементах /см. [21] /, представляется целесообразным использование при их разработке струйных элементов. Другим примером могут служить устройства, предназначенные к использованию в условиях высоких температур, при интенсивных помехах, радиационных и других воздействий, при которых электронная аппаратура неработоспособна.

С помощью струйных и других проточных элементов могут определяться основные величины, характеризующие случайный процесс. Например, могут просто определяться приближенные значения математического ожидания и дисперсии случайным образом изменяющегося с течением времени давления воздуха, которое может отражать изменение и других величин, преобразуемых в давление. Для получения усредненного значения давления могут использоваться задресселированные на входе и на выходе пневматические камеры или струйные интеграторы /принципы их построения описаны в книге [1] ; с вопросами осреднения давлений связаны вопросы фильтрации сигналов в струйных системах, рассмотренные в работе [19] /. Простейшим усредняющим устройством является задресселированная на входе пневматическая камера, показанная на рис. 4,а /см. графические обозначения, принятые в книге [1] , см. в последней стр. 378-381; на рис. 4,а показан дополнительно поршневой элемент, служащий для изменения объема при настройке величины постоянной времени камеры/. Оптимальными, если иметь в виду выполнение операции усреднения, являются величина сопротивления дросселя и объем камеры, ус-



танавливаемые так, чтобы дальнейшее их увеличение не влияло на величину получаемого в выходном канале усредненного давления, а при уменьшении их последнее изменялось бы вследствие передачи в камеру пульсаций входного давления. Один из ранее предложенных вариантов построения струйного дисперсиометра был описан в [22]. На рис. 4,в показана схема другого струйного устройства, также предназначенного для приближенной оценки случайной величины давления  $x(t)$ . Давление в выходном канале струйного пропорционального усилителя I отражает величину разности  $x(t) - \overline{x(t)}$ , где  $\overline{x(t)}$  усредненное значение  $x(t)$ . Струйным элементом 2 величина  $x(t) - \overline{x(t)}$  возводится в квадрат. Принцип построения струйных множительных устройств этого типа описан в [1]: если давление на выходе струйного аналогового элемента меняется при данном значении давления во входном канале пропорционально давлению в канале управления и наоборот, при постоянном значении второго из них пропорционально первому, то выходное давление отражает величину произведения этих давлений. При показанном на рис. 4,в соединении указанных каналов и при введении в схему дросселя 3, выходное давление при соответствующей настройке струйного элемента пропорционально квадрату входного давления, отражающего величину  $x(t) - \overline{x(t)}$ . В выходном канале 4 получается давление, пропорциональное усредненной величине  $\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}$ . При дополнении элементов, очерченных на рис. 4,в пунктирным контуром, элементами, изображенными в правой части рис. 4,с получается струйное устройство, предназначенное для приближенной оценки средне квадратичного отклонения случайного процесса  $x(t)$ . Показанными в правой части рис. 4,с элементами выполняется операция извлечения квадратного корня, причем получается выходное давление, отражающее величину

$$\sigma = \sqrt{\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}}.$$

Это осуществляется следующим образом. Давление на выходе струйного квадратора I/такого же, как квадратор 2 на рис. 4,в/ поддерживается равным  $\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}$  с помощью системы автоматического регулирования, содержащей струйный элемент сравнения 2,



являющийся чувствительным элементом системы регулирования, указанный выше элемент 1, и содержащей кроме элементов 1 и 2 камеру 3 и канал обратной связи 4. При работе этой системы на входе в струйный элемент 1 автоматически поддерживается давление, отражающее указанную выше величину  $\sigma$ . Это давление является выходным. Приведенными выше схемами лишь иллюстрируется принципиальная возможность выполнения рассматриваемых функций с помощью струйных элементов. Возможны при этом различные способы их реализации.

### Вопросы, требующие дальнейшего исследования

Так как разработка струйных стохастических элементов и использование статистических методов при изучении динамики струйных устройств находятся сейчас только в начальной стадии, требуют дальнейшего исследования по существу все перечисленные выше вопросы. Кроме них необходимо изучение также и следующих. До сих пор строились лишь пневматические генераторы случайных сигналов и рассматривались возможности построения других также пневматических стохастических элементов; является актуальным создание и гидравлических элементов этого типа. Статистические методы исследования динамических характеристик струйных устройств в основном применялись до сих пор в предположении, что их рабочий процесс может быть описан линейными дифференциальными уравнениями. Представляется необходимым изучение динамики струйных элементов и с учетом нелинейности исходных характеристик. При этом могут быть использованы общие подходы к определению структуры и характеристик нелинейных объектов, указанные в работе [11]. Важное значение имеет и выявление того в какой мере шумы, возникающие при работе струйных элементов, коррелированы с шумами в потоке рабочей среды в подходах каналах и с внешними шумами. Оба вопроса были рассмотрены в работе [8], в которой было отмечено, что реакция струйных элементов на случайные воздействия может быть качественно различной в зависимости от того являются ли они слабыми или сильными. Все это требует дальнейшего изучения. Экспериментально-статистические методы могут иметь в рассматриваемой области

техники и другие применения. Целесообразно использовать их при проектировании проточной части струйных устройств. Первые результаты проведенных в этом направлении работ были описаны в книге 23 и в литературе, на которую были сделаны в ней ссылки. Является актуальным развитие данного направления исследовательских и проектных работ.



ЛИТЕРАТУРА

1. Залманзон Л.А.: Теории аэрогидродинамических систем автоматического управления.  
Изд-во "Наука", 1977 .
2. Комиссарова Т.В.: Исследование вопроса получения случайных двоичных сигналов с помощью элементов пневмоники.  
В сб. "Пневмоавтоматика", Изд-во "Наука", 1972.
3. Комиссарова Т.В.: Про застосування принципів в струминній пневмоавтоматики для одержання випадкових двійкових сигналів.  
В сб. "Планування експерименту при дослідженні промислових об'єктів, тов. "Знання", Київ, 1971.
4. Залманзон Л.А., Комиссарова Т.В.: О стохастических элементах пневмоники.  
В сб. "Приборы и устройства струйной техники", ЛДНТП, "Знание", Л., 1973.
5. Massen R.: Stochastic fluidic computing systems, Proc. of the 5th Cranfield Conference, BHRA, 1972.
6. Tafel H.J.: Fluidische Informationsübertragung-Möglichkeiten und Grenzen, Msr., No.3, 1975.
7. Orner P.A., Pill J.: Random signal testing of fluid amplifiers, Fluidics Quarterly, Vol. 1, No.3, 1968.
8. Orner P.A.: Stochastic testing methods for fluid amplifiers, Journal of Basic Eng-ng, Trans. of the ASME, Ser. D., Vol.91, No.2, 1969.
9. Toyoda K., Iimura I., Hatanaka H.: The measurement of dynamics of fluidic devices by using random signals, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
10. Fischer J.: Experimentální výzkum hydraulických prvků statistickými metodami, Automatizace, No.6, 1977.

11. Райбман Н.С., Чадеев В.М.: Построение моделей процессов производства.  
Изд-во "Энергия", 1975.
12. Zalmanzon L.A.: Method of automatically controlling pneumatic or hydraulic elements of instruments and other devices.  
Пат. США № 3295543 кл.137 по заявке ИАТ АН СССР от 12.02.1960, опубл. 03.01.1967 /см. также англ. пат. 913848 по заявке ИАТ АН СССР от 15.12.1959; ФРГ № 1136518 от 14.12.1960/, приоритет в СССР от 13.04.1959.
13. Fasol K.H., Kopacek P., Wohlfart H., Vingron P.: Ein pneumatischer Generator zur Erzeugung von binären Pseudo-Zufallsignalen, Msr, 12, H.5, 1969.
14. Hanafusa H., Miyata K.: Statistical studies on the accuracy of fluidic comparators, Proc. of the 6th Cranfield Fluidics Conference, BHRA, 1974.
15. Harada M., Oyama O., Kaneura A.: Switching delay of wall attachment devices, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
16. Miyata K., Hanafusa H.: Operating condition of wall attachment fluidic device using pulse, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
17. Райбман Н.С., Анисимов С.А., Яралов А.А., Меняйленко В.А., Зайцева И.С.: Оценка структуры модели при типовой идентификации линейных объектов.  
Издание Ин-та проблем управления, М., 1973.
18. Райбман Н.С., Анисимов С.А., Яралов А.А., Меняйленко В.А., Зайцева И.С.: Оценка параметров модели при типовой идентификации линейных объектов.  
Издание Ин-та проблем управления, М.б 1973.



19. Kohl A.: Desisn of transmission line filters and their application in fluidic circuits, Fluidics Quarterly, Vol.7, No.1, 1975.
20. Мирский Г.Я.: Аппаратурное определение характеристик случайных процессов.  
Изд-во "Энергия", 1972.
21. Дарховский Б.С., Хвилевцкий Л.О.: Пневматический коррелог-граф.  
В сб. "Новое в пневмо-гидравлической автоматике"., Изд-во АН СССР, 1962.
22. Dexter E.M.: Statistical device, Пат. США № 3459206  
кл. 137-81.5, заявл. 22.10.1965, опубл. 05.08.1968.
23. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С.: Элементы струйной автоматики.  
Изд-во "Машиностроение", 1973.

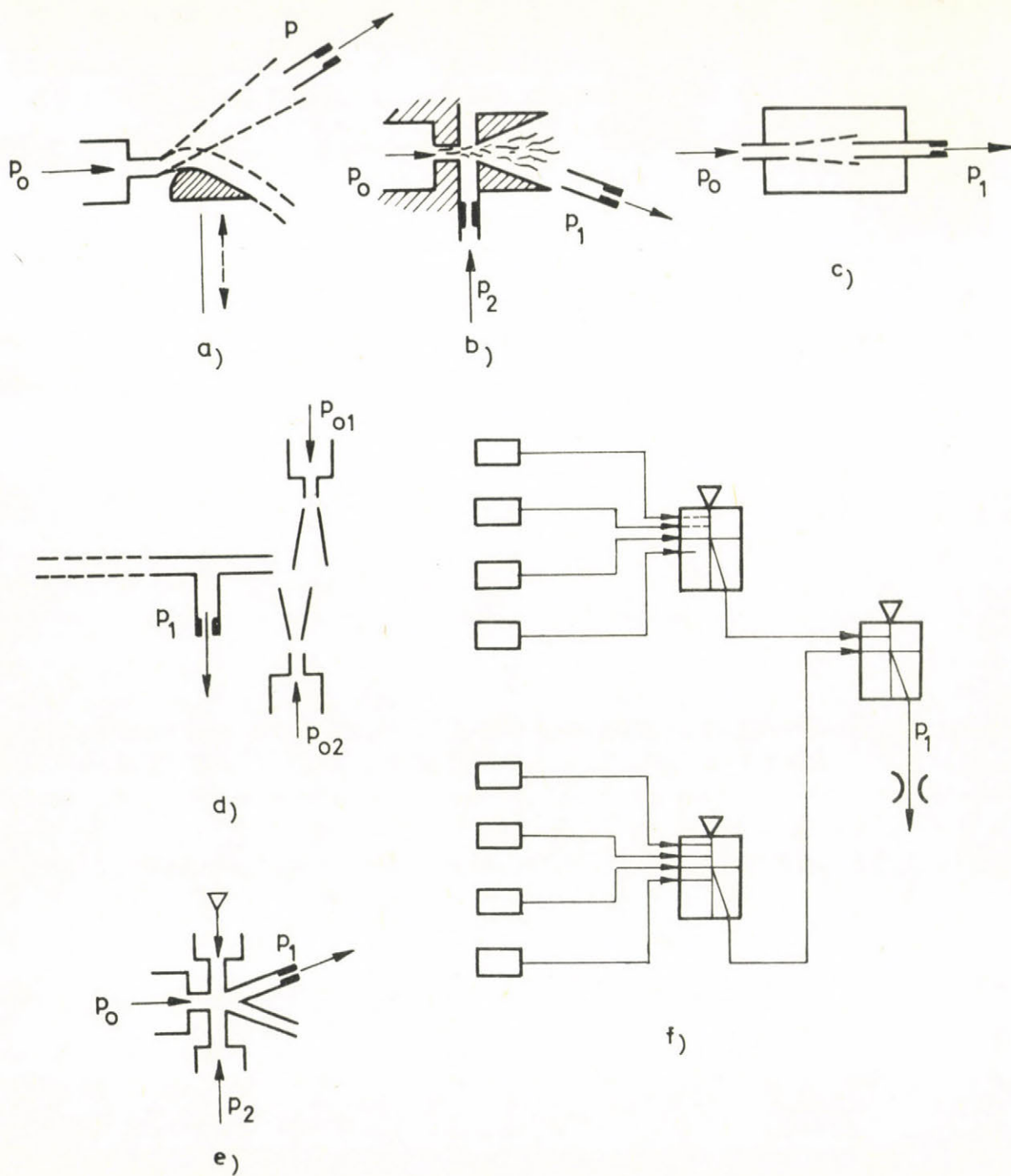
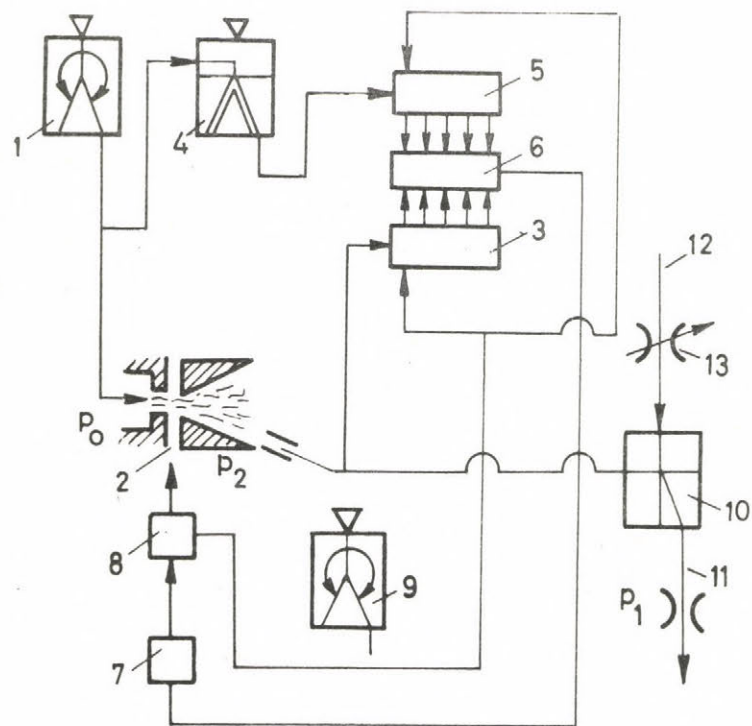
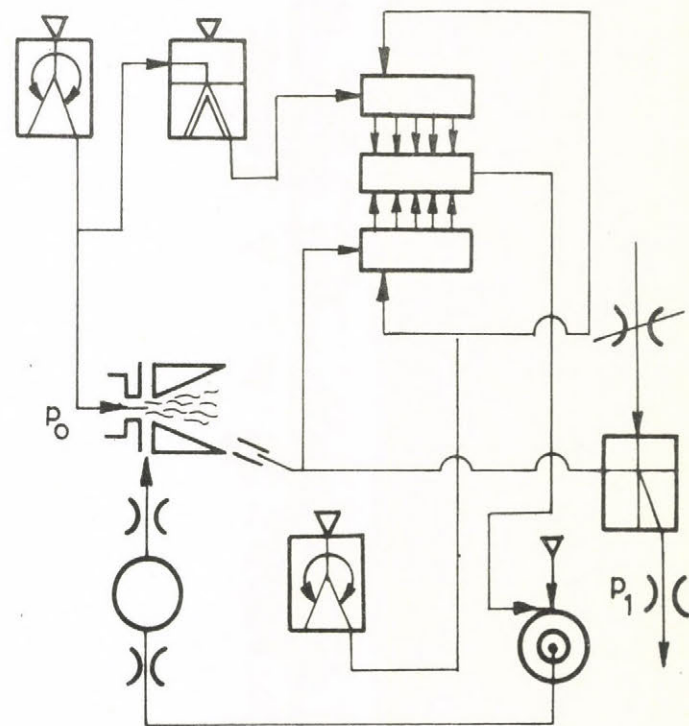


Рис. 1.





a)



b)

Рис. 2.

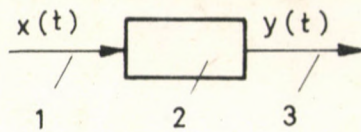
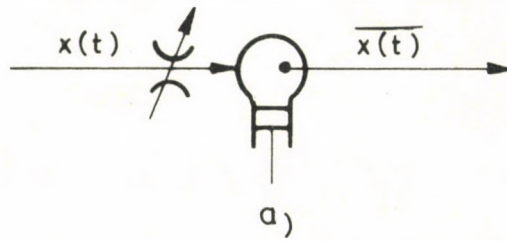
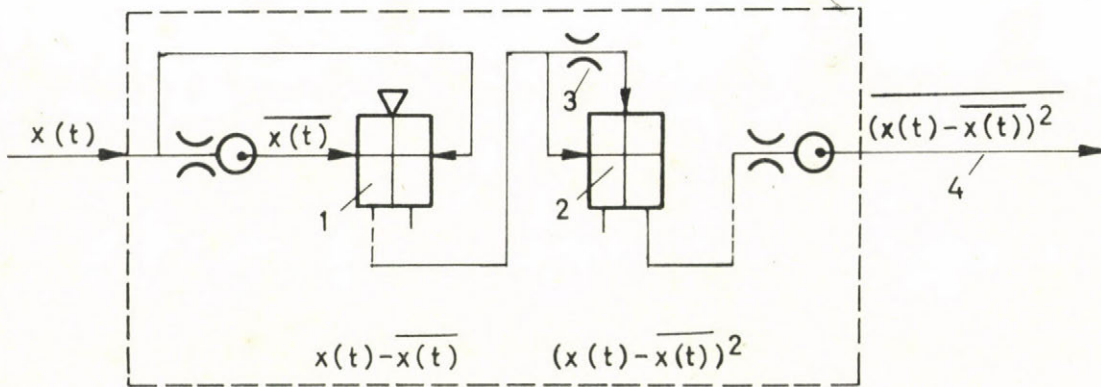


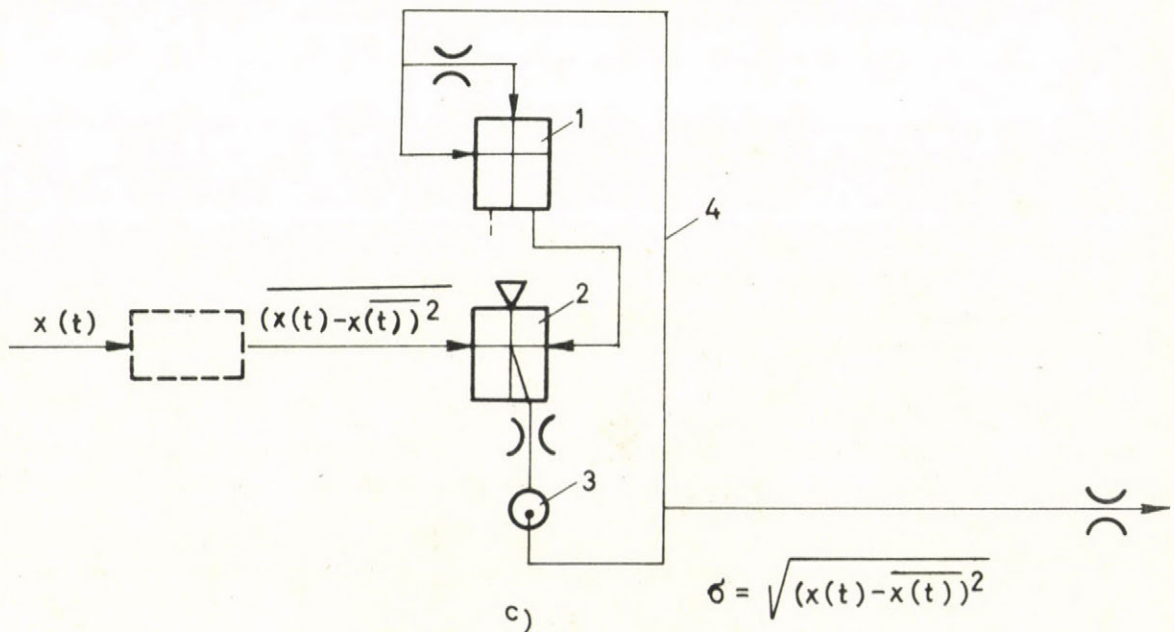
Рис. 3.



a)



b)



c)

Рис. 4.





## KÖZÖS TALÁLmányOK HELYZETE ÉS A SORONLEVŐ FELADATOK KIJELESE

Berendsz, T.K., Tal, A.A., Gerencsér, P., Szép, E.

Az IPU és a SzTAKI közötti tudományos együttműködés keretében két újabb találmány született, melyeknek szabadalmaztatása mind a Szovjetunióban, mind Magyarországon folyamatban van. Megnevezés szerint a következő két találmányról van szó:

1. "Logikai rendszerekben előnyösen jelmásolásra alkalmazható pneumatikus működtetésű elem"
2. "Logikai rendszerekben előnyösen jelfordításra alkalmazható pneumatikus működtetésű elem".

A találmányok lényege az, hogy a membrános logikai elemek logikai funkcióit, statikus és dinamikus viselkedését meghatározó technikai paraméterek (a membránok és az általunk vezérelt szelepek kölcsönös helyzete, a membránok száma, az erőátadó rudak mechanikai kapcsolata, a kimenőjel képzés céljából rövidrezárt kamrák, a szelepek és membránok effektív felületének viszonya) úgy vannak megválasztva, hogy a kívánatos logikai függvény realizálásán túlmenően, az ismert megoldásokkal szemben, a kellemetlen analóg szakaszokat nem tartalmazó, tisztán reléjellegű statikus karakterisztikákat kapunk.

A találmány tárgyát képező megoldások egyben részét képezik Gerencsér Piroska szovjet levelező aspirantúra keretében, A.A. Tal professzor vezetése alatt, részben az IPU-ban, részben pedig a SzTAKI-ban végzett munkájának.

Az elemek különböző szintű mintapéldányai készültek el, melyek az elvárásoknak megfelelő eredményeket adtak és igazolták a feltevések helyességét. Időrendi sorrendben a következő kísérleti példányokon végeztünk vizsgálatokat:

1. TRIMELOG hárommembrános logikai elemből átalakított darabok
2. Építőkocka jellegű szerkezeti elemekből összeépíthető elemek, melyeken a legfontosabb működést meghatározó paraméterek hatása bizonyos tartományban tanulmányozható volt.
3. A CIKL-rendszer modulméretei szerint készített viszonylag kislégáteresztésű elemek
4. Ugyanaz, mint a 3. alatti, csak megnövelt légáteresztéssel
5. A CIKL-rendszer új csatlakozási rendszere szerint épített olyan elemek, melyeknél a jelmásolást két összeépített jelfordító elem realizálja.

Az 5. alatt említett kettős inverterből jelenleg 25 db készül a SzTAKI-ban. Ebből 20 db az IPU-ba kerül, ahol a CIKL-rendszerbe illő, szub-blokkot fejlesztenek belőlük és típusnévvel ellátják.



Lépéseket tettünk arra, hogy egy kisebb kísérleti rendszert Magyarországon üzemi próbának vessünk alá. Erre vonatkozóan a Nagyalföldi Kőolaj- és Földgáztermelő Vállalattal folytattunk előzetes megbeszéléseket.

Ami a találmányi bejelentéseket illeti, a helyzet a következő.

A magyar bejelentések 1976. december 30-án megtörténtek. A nemzetközi osztályozás szerint pillanatnyilag az F15c indexet viselik. A szokásos procedurának megfelelően 1978. január előtt a bejelentéseink nem kerülnek vizsgálatra.

A szovjet bejelentéshez szükséges leírásokat és egyéb nyilatkozatokat a szeminárium folyamán aláírtuk. Megállapodtunk, hogy amennyiben az IPU a szovjet bejelentésnél a magyar prioritást használni akarja — és ez célszerűnek látszik — jelzi, ha valamilyen dokumentumra szüksége van.

#### РЕЗЮМЕ

Положение совместных изображений и намечение  
очередных задач

Берендс Т.К., Таль А.А., Геренчер П., Сэп Э.

Были разработаны в рамках научного совместного сотрудничества два советско-венгерских изобретения. Предметом их изобретений являются пневматические усилители повторения и отрицания, имеющие идеальные характеристики. В этом периоде ведутся экспериментальные работы над усилителями и их внедрение в систему ЦИКЛ.

## PROGRAMCSOMAG ALAPMÁTRIX SZÁMITÁSÁRA

Palkó Gy. Bulcsú

### Kivonat

A publikáció lineáris, homogén vektor differenciálegyenletek alapmátrixának meghatározását, a CAYLEY-HAMILTON tételre épülő módszert és annak számítógépes megvalósítását mutatja be. A sajátértékek ismeretében felírt minimálpolinomhoz tartozó komplex együtthatós Hermite-féle interpolációs alappolinomok segítségével az alapmátrix függvénye már könnyűszerrel meghatározható. A módszer a SYLVESTER-féle tétel általánosítását hordozza. Felhasználható minden olyan területen, ahol az alapmátrix függvényének ismerete szükséges (a korlátok figyelembevételével), például optimális irányítási feladatokban.

### Bevezetés

Lineáris rendszerek viselkedése legtöbbször lineáris, állandó együtthatós vektor differenciálegyenlettel leírható:

$$(1) \quad \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

ahol az  $x(t)$  az állapotvektor, az  $u(t)$  pedig a beavatkozó jelek vektora,  $A$  és  $B$  konstans mátrixok. Az (1)-eshez tartozó homogén vektor differenciálegyenlet általános megoldása

$$(2) \quad x(t) = \Phi(t, T_0)x(T_0)$$

ahol  $\Phi(t, T_0)$  az alapmátrix,  $x(T_0)$  pedig a kezdeti feltételek vektora. A rezolvensmátrix a (3) alapján számítható.

$$(3) \quad \Phi(t, T_0) = e^{\int_{T_0}^t A dt} = e^{A(t - T_0)}$$

A  $\Phi(t, T_0)$  számítására többféle módszert is kidolgoztak [1,2]. Leggyakrabban a (3)-as sorfejtését használják. Ezen publikáció a [3,4]-ben említett, a Cayley-Hamilton tételre alapozott eljárást mutatja be, példával illusztrálva.

A számítógépre való átültetésnél törekvés volt olyan, a gép számára érthető résztechnikák kidolgozása, amelynek az alkalmazásakor nem szükséges további feltevéseket, korlátozásokat kikötni az (1)-es egyenletre.

A (3)-as függvény felírása visszavezethető a lineáris rendszerekben jól ismert sajátérték problémára és a Hermite-féle interpolációs alappolinomok megszerkesztésére.

- Az  $A$  mátrix (tetszőleges típusú és multiplicitású) sajátértékeinek ismeretében meghatározható a karakterisztikus polinom,  $K(z)$ .
- Az  $A$  mátrixhoz tartozó Jordan blokkok ismeretében a karakterisztikus egyenletből felírható a minimálpolinom,  $\Delta(z)$ . Eldönthető, hogy az  $A$  egyszerű struktúrájú-e vagy nem.



- A  $\Phi(t, T_0)$  függvény előállítható a  $\Delta(z)$  gyökeire felépített Hermite-féle alappolinomok segítségével, összeg vagy szorzat alakban.

A fentiek alapján érzékelhető, hogy három lényeges problémakört kell érinteni:

1. Tetszőleges  $A$  mátrix valamennyi, nulla és nem nulla, valós és komplex, egyszeres és többszörös sajátértékeinek számítása.
2. Az  $A$  valamennyi sajátértékéhez tartozó Jordan blokk felírása.
3. Komplex alappontokra felépített Hermite-féle interpolációs alappolinomok meghatározására.

Természetesen ezekre gépi úton kell megoldást találni.

### Sajátérték probléma

Az  $n \times n$ -es valós  $A$  mátrixhoz általános esetben nulla, valós és konjugált komplex sajátértékek tartoznak, amelyek lehetnek egyszeres és többszörös multiplicitásúak. A legcélszerűbb a zérus altér (nulla sajátértékek) leválasztásával kiegészített, komplex sajátértékeket is számítani tudó, hasonlósági elimináción alapuló, és jó stabilitási tulajdonságokkal rendelkező módszer választása. Részletesen nem térünk ki rá, az [5,6]ban megtalálható.

A sajátértékek ismeretében a karakterisztikus egyenlet:

$$(4) \quad K(z) = \prod_{k=1}^{\nu} (z - z_k)^{p_k}$$

ahol  $\nu$  a  $p_k$  multiplicitású, egymástól különböző  $z_k$  (komplex számot jelöl) saját-

értékek számossága ( $n = \sum_{k=1}^{\nu} p_k$ ). A  $z$  komplex változó.

### Minimálegyenlet meghatározása

A minimálpolinom azonos a karakterisztikus polinommal, vagy annál kisebb fokszámú. Egyszerű strukturájú mátrixok esetében a minimálpolinom minden gyökre egyszeres. A mátrix szerkezetére a Jordan-féle normálalakok blokkjai adnak felvilágosítást. A Jordan-féle alakok tulajdonságait a Segre-féle karakterisztikába foglalt elemi osztók kitevőivel lehet felírni [3].

Az invariáns faktorok ismeretében felírható a komplex változás ( $z$ ), konjugált komplex gyökökkel ( $z_k$ ) rendelkező minimálpolinom.

$$(5) \quad \Delta(z) = \prod_{k=1}^{\nu} (z - z_k)^{r_k}$$

ahol  $r_k \leq p_k$

Az (5) polinom felírását az  $A$  mátrixnak és sajátértékeinek ismeretében a Gauss-féle eliminációs technikával lehet elvégezni [6]. Támpontul a következő tétel szolgálhat:

*Az  $(A - z_k E)$  mátrix rangja egy lépésben – eliminációs technikával – annyival csökkenthető, amennyi az  $A$  mátrix Jordan-féle normálalakjában a  $p_k$  multiplicitású  $z_k$  sajátértékhez tartozó elemi blokkok száma.*

Minden egyes sajátértéknél, az elvégzett rangszámcsökkentésből összeállítható a Segre-féle karakterisztika, így a minimálegyenlet is felírható. Részletes bizonyítás a [7]-ben.

A rangszámcsökkentést minden sajátértékhez az  $(A - z_k E)$  komplex mátrixra kell elvégezni, hogy a hibák nem halmozódjanak.

### Hermite-féle interpolációs alappolinomok

Nem egyszerű struktúrájú  $A$  mátrix esetén a (3)-as függvény (végtelen sorú alakról) a Hermite-féle interpolációs alappolinomok segítségével véges alakkal is felírható.

A Hermite polinom olyan interpolációs polinom – jelen esetben komplex – amely, az alappontokhoz (a minimálegyenlet gyökhelyei) tartozó függvénytípusokra és a deriváltaknak a pontjaira illeszkedik. Az interpolációs alappolinomok a következő formulákkal számíthatók:

$$6) \quad H_{km}(z) = \sum_{s=0}^{r_k-1-m} \frac{1}{m!(r_k-1-m-s)!} \frac{d^{(r_k-1-m-s)}}{dz^{(r_k-1-m-s)}} \left[ \frac{(z-z_k)^{r_k}}{\Delta(z)} \right]_{z=z_k} \frac{\Delta(z)}{(z-z_k)^{s+1}}$$

vagy

$$7) \quad H_{km}(z) = \sum_{s=0}^{r_k-1-m} \frac{1}{m!s!} \frac{d^{(s)}}{dz^{(s)}} \left[ \frac{(z-z_k)^{r_k}}{\Delta(z)} \right]_{z=z_k} \frac{\Delta(z)}{(z-z_k)^{r_k-m-s}}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, \nu$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots, (r_k-1)$$

ahol  $\nu$  az egymástól különböző sajátértékek száma,  $r_k$  pedig a  $z_k$ -adikhoz tartozó multiplicitás a minimálegyenletben.

A (6) vagy (7) formula a számítógépre még nem használható. A differenciálást visszavezetve lineáris egyenletrendszer megoldására, nem túl bonyolult algoritmus kapható a  $H_{km}(z)$  komplex együtthatóinak számítására. Valós sajátértékekhez valós, konjugált komplex párokhoz pedig konjugált komplex együtthatók tartoznak. A (6), (7) összefüggések levezetéséhez a differenciálszámításban ismeretes osztott differenciák [8,9] általánosítását felhasználva lehet eljutni.



## Az alaplátrix

A (3)-as függvény véges alakban felírva (a maradék hibát elhagyva):

$$(8) \quad \Phi(t, \tau) = e^{A(t - \tau)} = \sum_{k=1}^{\nu} \sum_{m=0}^{r_k-1} (t - \tau)^m e^{z_k(t - \tau)} H_{km}(A)$$

A faktorizált alakban felírt minimálpolinom gyökei közül legyen  $b$  darab valós ( $z_k = \alpha_k$ ),  $q_i$  multiplicitású és  $c$  darab konjugált komplex pár ( $z_k = \beta_k + j\gamma_k$ )  $h_\xi$  multiplicitással. Tehát:

$$(9) \quad \Delta(z) = \prod_{i=1}^b (z - \alpha_i)^{q_i} \prod_{\xi=1}^c (z - z_\xi)^{h_\xi} (z - \tilde{z}_\xi)^{h_\xi}$$

ahol  $\tilde{z}_\xi$  a  $z_\xi$  konjugáltja.

Szétválasztást a homogén vektor differenciálegyenlet általános megoldásában szereplő periódikus tagok leválasztására célszerű megtenni.  $\tau = T_0$  helyettesítéssel és a fentiek alapján:

$$(10) \quad \begin{aligned} \Phi(t, T_0) = & \sum_{i=1}^b e^{\alpha_i t} \sum_{j=0}^{q_i-1} U_i^{(j)}(A, T_0) (t - T_0)^j + \\ & + \sum_{\xi=1}^c e^{\beta_\xi t} \sum_{\eta=0}^{h_\xi-1} [\cos(\gamma_\xi t) V_\xi^{(\eta)}(A, T_0) + \sin(\gamma_\xi t) W_\xi^{(\eta)}(A, T_0)] (t - T_0)^\eta \end{aligned}$$

ahol

$$(11) \quad U_i^{(j)}(A, T_0) = \frac{H_{ij}(A)}{e^{\alpha_i T_0}}$$

$$(12) \quad V_\xi^{(\eta)}(A, T_0) = \frac{2\cos(\gamma_\xi T_0)}{e^{\beta_\xi T_0}} C_\xi^{(\eta)}(A) + \frac{2\sin(\gamma_\xi T_0)}{e^{\beta_\xi T_0}} D_\xi^{(\eta)}(A)$$

$$(13) \quad W_\xi^{(\eta)}(A, T_0) = \frac{2\sin(\gamma_\xi T_0)}{e^{\beta_\xi T_0}} C_\xi^{(\eta)}(A) - \frac{2\cos(\gamma_\xi T_0)}{e^{\beta_\xi T_0}} D_\xi^{(\eta)}(A)$$

A  $C_\xi^{(\eta)}$  és a  $D_\xi^{(\eta)}$  mátrixok a konjugált komplex gyökpárokhoz tartozó alappolinomok  $A$ -ban vett helyettesítési értékeinek valós és képzetes részei.

Végeredményben az alaplátrix mátrix együttthatós véges függvénysszomma alakot ölt,

$$(14) \quad \Phi(t, T_0) = \sum_{\xi=1}^{\sigma} f_\xi(z_\xi, t) G_\xi(z_\xi, T_0)$$

ahol

$$(15) \quad \sigma = \sum_{i=1}^b q_i + 2 \sum_{\xi=1}^c h_\xi$$

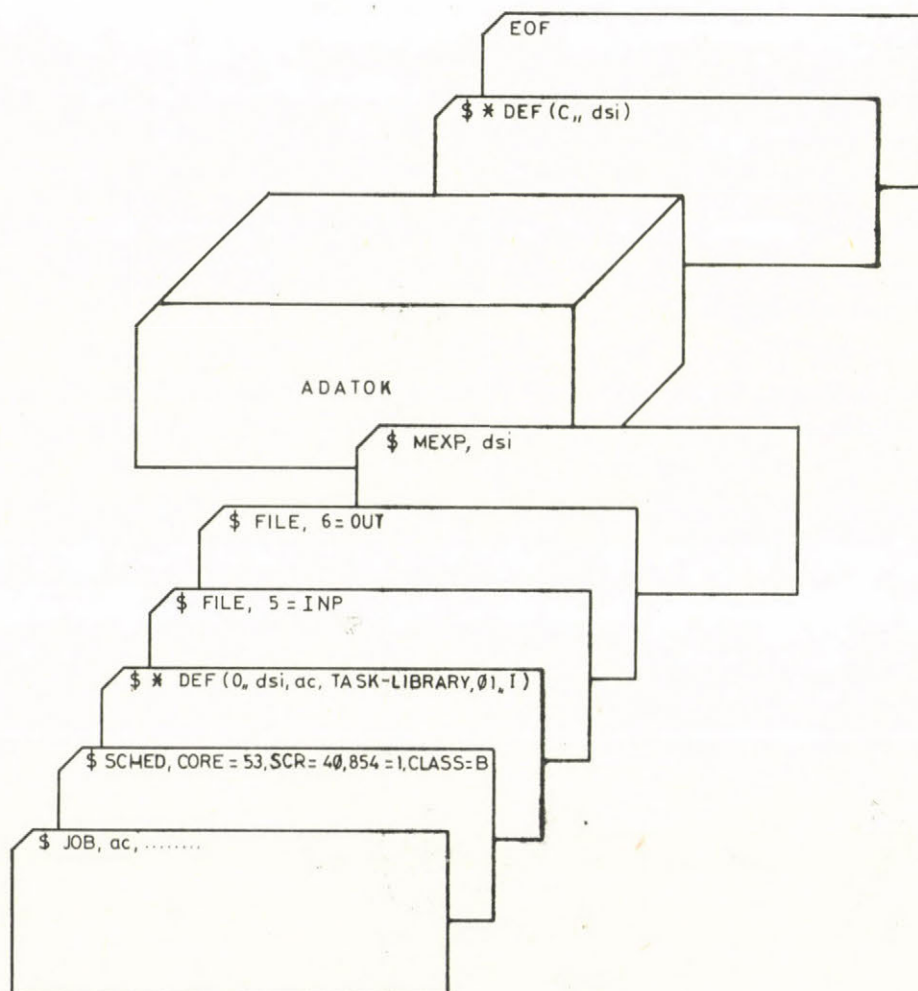
és  $\sigma \geq \nu$ ; a sajátértéktől függő függvényekkel szorzott konstans mátrixok lineárkombinációjából áll össze.

Amennyiben nem a  $\tau$ -t tekintjük állandónak, a (10), (11), (12), (13) összefüggések másként alakulnak;  $\Phi(\tau, t)$ .

Software háttérrel a következőképpen ismertetett programcsomag biztosít.

### Programcsomag

A felvázolt módszerhez 1 500 kártyából álló, overlay szerkezetű FORTRAN nyelvű programcsomag tartozik (MEXP). A 4 + 1 overlay szegmens együttesen 13 eljárásból áll. Az ilyen jellegű kialakításra a helyigény csökkentése – a szükségtelenné váló memóriaterület újbóli felülírásával – érdekében volt szükség. A futtatási idő rövidítésére abszolút címzésű formában lett elhelyezve a MEXP nevű task a háttértárolón. Az aktiválásához szükséges kártyaképek az 1. ábrán láthatók.

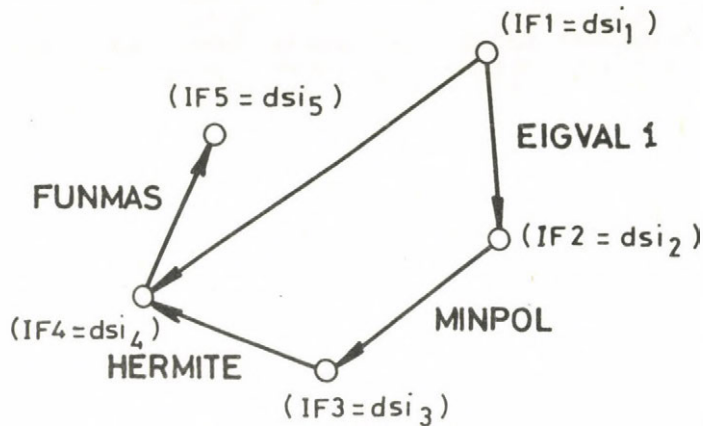


1. ábra A MEXP nevű abszolút task aktiválása



Futtatás a CDC 3300-as gépen történt.

Az overlay-s szerkezet kialakítása a módszer leírásánál követett 4 gondolatkörhöz igazodik. A szegmensek közötti adatátadás common mezőn és blokkolatlan file-okon történik. A struktúra felépítésének fő szempontjai a feladatcsomagonkénti, újbóli teljes betöltés, egy megelőző szegmens megegyszer történő aktivizálásának elkerülése volt. A file-okon folyó adatforgalom szervezésének váza a 2. ábrán van.



2. ábra Adatforgalom a MEXP task-on belül.

A csúcsok a file-okat jelentik, az élek pedig a közöttük lévő adatforgalmat. Az eljárás-operációk végrehajtása a file-okon lévő paraméterektől függ.

A meg nem említett, de a megértéshez szükséges fogalmak a [10]-ben, a teljes program-csomag használatához szükséges ismeretek pedig a forrásnyelvű eljárások comment mezőiben vannak.

Tapasztalatok:

- Az overlay-s szerkezetű task közepes helyigényű (53qp), a számítási idő pedig a homogén vektor differenciálegyenlet **A** mátrixának méretétől függ.
- 2 db 4 \* 4-es és 2 db 8 \* 8-as méretű mátrixok esetén az összes számítási idő 1,5 perc volt.
- A számítási hibákról az üzenetek között elhelyezett paraméterek és kijelzések adnak hű képet.
- A legkritikusabb rész a sajátérték keresés.

– Az egymáshoz közel eső  $z_i, z_j$  sajátértékek összeolvasztását csak  $\epsilon$ -nyi sugárú körben tudja elvégezni automatikusan. Amennyiben az  $A$ -nak vannak olyan sajátértékei, amelyek különbsége nagyobb mint  $\epsilon$ , de még azonosnak vehetők, a program téveszt. Ez a futás közbeni részeredményekbe való beavatkozással kiküszöbölhető (interaktivitás).

A továbbiakban egy  $8 \times 8$ -as méretű, nem egyszerű strukturájú  $A$  mátrixhoz tartozó rezolvensmátrix számítási eredményeit mutatjuk be  $T_0 = 0.0$ -ra.

### Példa

A homogén vektor differenciálegyenlet:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ -0.5 & -1.5 & 0.5 & 1.5 & 0.0 & -0.005 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 & 0.0 \\ 1/3 & 1.0 & -1/3 & -1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 \\ -1.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 & 0.0 & -1/3 \\ 0.0 & -2.0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 & 1.5 & 0.0 & -1.0 \\ 1.0 & 0.0 & -1.0 & 0.0 & 0.0 & -0.5 & 0.0 & 1/3 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & -3.0 & 0.0 & -1.5 & -1.0 & -1.0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t)$$

A karakterisztikus és minimálpolinom:

$$\begin{aligned} K(z) = \Delta(z) = & z^2(z + 1.2162)(z - 1.2162)[z - (-2.03975 + j0.321701)] \cdot \\ & \cdot [z - (-2.03975 - j0.321701)][z - (2.03975 + j0.321701)] \cdot \\ & \cdot [z - (2.03975 - j0.321701)] \end{aligned}$$

A Hermite-féle interpolációs alappolinomok:

$$H_{10}(z) = 1.0 + (-1.122)z^2 + 0.3567z^4 + (-0.03718)z^6$$

$$H_{11}(z) = z + (-1.122)z^3 + 0.3567z^5 + (-0.03718)z^7$$

$$H_{20}(z) = 0.73448z^2 + (-0.6039)z^3 + (-0.3277)z^4 + 0.2695z^5 + 0.04039z^6 + (-0.03322)z^7$$

$$H_{30}(z) = 0.73448z^2 + 0.6039z^3 + (-0.3277)z^4 + (-0.2695)z^5 + 0.04039z^6 + 0.03322z^7$$

$$\begin{aligned} H_{40}(z) = & (-0.08666 + j0.04448)z^2 + (0.0448 - j0.0147)z^3 + (0.07471 - j0.04625)z^4 + \\ & + (-0.03923 + j0.01649)z^5 + (-0.0109 + j0.01093)z^6 + (0.00604 - j0.00441)z^7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{50}(z) = & (-0.08666 - j0.04448)z^2 + (0.0448 + j0.01474)z^3 + (0.07471 + j0.04625)z^4 + \\ & + (-0.03923 - j0.01649)z^5 + (-0.0109 - j0.01093)z^6 + (0.00604 + j0.00441)z^7 \end{aligned}$$



$$H_{60}(z) = (-0.08666 - j0.04448)z^2 + (-0.0448 - j0.01474)z^3 + (0.07471 + j0.04625)z^4 + \\ + (0.03923 + j0.01649)z^5 + (-0.0109 - j0.01093)z^6 + (-0.00604 - j0.00441)z^7$$

$$H_{70}(z) = (-0.0866 + j0.0448)z^2 + (-0.0448 + j0.01474)z^3 + (0.07471 - j0.04625)z^4 + \\ + (0.03923 - j0.01649)z^5 + (-0.0109 + j0.01093)z^6 + (-0.00604 + j0.00441)z^7$$

Az alaplátmátrix ( $T_0 = 0.0$ ):

Az alaplátmátrixokra jellemző  $\Phi(T_0, T_0) = E$  tulajdonság alapján meg lehet győződni az eredmény helyességéről.

Köszönettel tartozom Varga Gyulának az értékes szakmai segítségért; Bródy Ferencnek hogy figyelmemet jól használható forrásmunkákra irányította; valamint Tóth Károlynak a programok összeállításában nyújtott támogatásáért.

## I r o d a l o m

- [1] Csáki, F.: Fejezetek a szabályozástechnikából. Állapotegyenletek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [2] Sencendo, R. — Schiring, E.E.: Introduction to Continous and Digital Control Systems. London.
- [3] Rózsa, P.: Lineáris algebra és alkalmazásai. Műszaki Könyvkiadó, 1974.
- [4] Gantmacher, F.: Theory of Matrices. Chelsea, 1959.
- [5] Varga, Gy.: Mátrixok sajátértékeinek meghatározása a "hasonlósági elimináció" módszerével. MTA Számítástechnikai Központja, Közlemények 5; 1965 június.
- [6] Varga, Gy.: Nonzero eigenvalues of singular matrices. Colloquium on Numerical Method Keszthely, 4-10 September 1977.
- [7] Varga Gy.: Szinguláris mátrixok zérus sajátértékeinek leválasztása, mátrixok Jordan-féle normálalakra hozása. Sajtó alatt; Alkalmazott Matematikai Lapok.
- [8] Gelfond, A.O.: Differenciászámítás Akadémiai Kiadó, Budapest; 1954.
- [9] Bakvalov, N.Sz.: A gépi matematikai numerikus módszerei. Műszaki könyvkiadó, Budapest; 1977.
- [10] Computer Systems USASI FORTRAN/MASTER, Reference Manual. CDC, 1969.

РЕЗЮМЕ

Применение пакетов программ для вычисления  
матриц дифференциальных уравнений

Палко Б.

Рассмотрен способ решения линейных однородных векторных дифференциальных уравнений, основанный на теореме "CAYLEY-HAMILTON", и его реализация на ЭВМ. Метод использует теорему "SYLVESTER". Изложенный метод может быть применен там, где требуется знание переходной матрицы /с учетом ограничений/, например, в задачах оптимального управления.



+

0.49523E+00	0.55774E-01	0.50475E+00	-0.18592E-03	-0.45475E-10	0.20570E+00
0.27949E-01	0.13620E+00				
0.13024E-08	0.15425E-08	-0.13024E-08	-0.25465E-08	-0.20570E+00	-0.14552E-03
-0.20570E+00	-0.13514E-08				
0.49523E+00	0.55774E-01	0.50475E+00	-0.18592E-03	-0.27349E-01	0.20570E+00
-0.10185E-09	0.13620E+00				
-0.59491E-09	-0.11496E-08	0.59491E-09	0.28522E-08	-0.19620E+00	0.99876E-03
-0.12620E+00	0.40382E-03				
0.43656E-10	-0.12224E-08	-0.43656E-10	0.21719E-08	0.49523E+00	0.35042E-09
0.49523E+00	-0.13824E-03				
0.91677E-09	0.23104E-09	-0.91677E-09	0.11642E-08	0.55774E-01	0.68394E-09
0.55774E-01	-0.50390E-09				
-0.61846E-10	0.11059E-08	0.61846E-10	-0.20191E-08	0.50475E+00	-0.99876E-09
0.50475E+00	0.13870E-09				
-0.19554E-08	-0.20373E-09	0.19554E-08	0.99561E-09	-0.18592E-03	-0.12230E-08
-0.19592E-03	0.22119E-08				

$\Phi(r,0,0) =$

+

0.12647E-08	0.26703E-03	-0.12647E-08	-0.46421E-08	-0.70095E+00	-0.10477E-08
-0.70095E+00	-0.06406E-09				
-0.21610E-08	-0.31378E-08	0.21610E-08	0.66611E-08	-0.12551E-09	0.18445E-08
0.24338E-08	0.12114E-08				
-0.59890E-09	-0.26776E-08	0.59890E-09	0.56898E-08	-0.70095E+00	0.21755E-08
-0.70095E+00	0.15643E-09				
0.32378E-08	0.22310E-08	-0.32378E-08	-0.53260E-08	-0.30323E-09	-0.49113E-10
-0.10077E-08	-0.08740E-08				
0.26048E-08	0.22992E-08	-0.26048E-08	-0.38481E-08	-0.10277E-08	0.11482E-08
0.17735E-09	-0.30659E-08				
0.55298E-09	-0.54028E-09	-0.55298E-09	0.10623E-03	-0.13824E-08	0.11191E-08
0.13533E-08	-0.68349E-03				
-0.26048E-08	-0.21901E-08	0.26048E-08	0.37189E-08	0.10459E-08	-0.11437E-08
-0.20109E-09	0.10241E-08				
-0.15493E-08	0.17026E-08	0.15493E-08	-0.56407E-08	0.31314E-08	-0.42382E-08
-0.40163E-08	0.20164E-08				

$e^{-1.216t}$ 

0.40442E-03 0.25795E-01	0.45522E-01 0.31317E+00	-0.40442E-03 -0.27823E-02	0.43974E-01 0.30253E+00	0.13266E-01 0.91267E-01	0.15730E-01 0.10822E+00	0.20877E-01 0.14363E+00
-0.44765E-02 -0.28552E+00	-0.50388E+00 0.24428E+00	0.44765E-02 -0.21702E-02	-0.48675E+00 0.23598E+00	-0.14684E+00 0.71189E-01	-0.17411E+00 0.84410E-01	-0.23109E+00 0.11203E+00
0.21702E-02 0.13842E+00	0.24428E+00 0.36854E+00	-0.21702E-02 -0.32741E-02	0.23598E+00 0.35601E+00	0.71189E-01 0.10740E+00	0.84410E-01 0.12735E+00	0.11203E+00 0.16902E+00
0.32741E-02 0.20883E+00	0.36854E+00 1.56344E+00	-0.32741E-02 -0.50501E-02	0.35601E+00 0.54912E+00	0.10740E+00 0.16566E+00	0.12735E+00 0.19542E+00	0.16902E+00 0.26070E+00
0.50501E-02 0.32211E+00	1.56344E+00 -0.36854E+00	-0.50501E-02 0.32741E-02	0.54912E+00 -0.35601E+00	0.16566E+00 -0.10740E+00	0.19542E+00 -0.12735E+00	0.26070E+00 -0.16902E+00
-0.32741E-02 -0.20883E+00	-0.36854E+00 0.32741E-02	0.32741E-02 -0.35601E+00	-0.35601E+00 -0.10740E+00	-0.10740E+00 -0.12735E+00	-0.12735E+00 -0.16902E+00	-0.16902E+00 0.25184E+00
0.48784E-02 0.31116E+00	0.54912E+00 0.16566E+00	-0.48784E-02 0.53045E+00	0.53045E+00 0.16003E+00	0.16566E+00 0.18375E+00	0.19542E+00 0.25184E+00	0.26070E+00 0.31116E+00

 $e^{1.216t}$ 

0.10740E+00 -0.71189E-01	0.16566E+00 -0.10740E+00	-0.10740E+00 0.16003E+00	0.16003E+00 -0.13266E-01	-0.13266E-01 -0.91267E-01	-0.91267E-01 0.14684E+00	0.14684E+00 -0.17411E+00
0.12735E+00 -0.84410E-01	0.19542E+00 -0.12735E+00	-0.12735E+00 0.18975E+00	0.18975E+00 -0.15730E-01	-0.15730E-01 -0.10822E+00	-0.10822E+00 0.17411E+00	0.17411E+00 -0.23109E+00
0.16902E+00 -0.11203E+00	0.26070E+00 -0.16902E+00	-0.16902E+00 0.25184E+00	0.25184E+00 -0.20877E-01	-0.20877E-01 -0.14363E+00	-0.14363E+00 0.23109E+00	0.23109E+00 -0.11203E+00
0.20883E+00 -0.13842E+00	0.32211E+00 -0.20883E+00	-0.20883E+00 0.31116E+00	0.31116E+00 -0.25795E-01	-0.25795E-01 -0.17746E+00	-0.17746E+00 0.28552E+00	0.28552E+00 -0.44765E-02
-0.32741E-02 0.21702E-02	-0.50501E-02 0.32741E-02	0.32741E-02 -0.48784E-02	-0.48784E-02 0.40442E-03	0.40442E-03 0.27823E-02	0.27823E-02 -0.44765E-02	-0.44765E-02 0.21702E-02
-0.36854E+00 0.24428E+00	-0.56344E+00 0.36854E+00	0.36854E+00 -0.54912E+00	-0.54912E+00 0.45522E-01	0.45522E-01 0.31317E+00	0.31317E+00 -0.50388E+00	-0.50388E+00 0.24428E+00
0.32741E-02 -0.21702E-02	0.50501E-02 -0.32741E-02	-0.32741E-02 0.48784E-02	0.48784E-02 -0.40442E-03	-0.40442E-03 -0.27823E-02	-0.27823E-02 0.44765E-02	0.44765E-02 -0.21702E-02
-0.35601E+00 0.23598E+00	-0.54912E+00 0.35601E+00	0.35601E+00 -0.53045E+00	-0.53045E+00 0.43974E-01	0.43974E-01 0.30253E+00	0.30253E+00 -0.48675E+00	-0.48675E+00 0.23598E+00



$$e^{-2.04t} \cos(0.3217t)$$

0.27517E+00	-0.23231E+00	-0.27517E+00	-0.20859E+00	0.96435E-01	-0.14178E+00
-0.29444E+00	-0.13137E+00				
0.53415E-01	0.53637E+00	-0.53415E-01	-0.49584E+00	-0.11614E-01	-0.22520E-02
0.34497E-01	-0.10549E+00				
-0.23776E+00	0.26525E+00	0.28775E+00	0.24916E+00	-0.98775E-01	0.14654E+00
0.30165E+00	0.14283E+00				
-0.15812E-01	-0.47731E+00	0.16812E-01	0.39290E+00	0.19432E-01	-0.12434E-01
-0.58528E-01	0.74302E-01				
0.36767E+00	-0.25222E+00	-0.36767E+00	-0.38493E+00	0.12178E+00	-0.18354E+00
-0.37205E+00	-0.19419E+00				
0.11126E+00	0.14850E+00	-0.11126E+00	-0.28909E+00	0.25353E-01	-0.45964E-01
-0.77843E-01	-0.89085E-01				
-0.36767E+00	0.25222E+00	0.36767E+00	0.38493E+00	-0.12178E+00	0.18354E+00
0.37205E+00	0.19419E+00				
-0.33795E-01	-0.28909E+00	0.33795E-01	0.27513E+00	0.47775E-02	0.35660E-02
-0.14060E-01	0.59962E-01				

$$e^{-2.04t} \sin(0.3217t)$$

0.76785E+00	0.59794E+00	-0.76785E+00	-0.16674E+01	0.19680E+00	-0.33540E+00
-0.60312E+00	-0.55723E+00				
-0.86540E+00	-0.46136E+00	0.86540E+00	0.17160E+01	-0.23267E+00	0.38707E+00
0.71267E+00	0.59936E+00				
-0.73382E+00	-0.58592E+00	0.73382E+00	0.16046E+01	-0.18734E+00	0.31992E+00
0.57422E+00	0.53448E+00				
0.80002E+00	0.44554E+00	-0.80002E+00	-0.16010E+01	0.21412E+00	-0.35701E+00
-0.65588E+00	-0.55664E+00				
0.78935E+00	0.65426E+00	-0.78935E+00	-0.17521E+01	0.19379E+00	-0.34268E+00
-0.61242E+00	-0.57952E+00				
-0.14568E+00	-0.17871E-01	0.14568E+00	0.24296E+00	-0.42226E-01	0.67706E-01
0.12921E+00	0.32831E-01				
-0.78935E+00	-0.65426E+00	0.78935E+00	0.17521E+01	-0.19379E+00	0.34268E+00
0.61242E+00	0.57952E+00				
0.46157E+00	0.24297E+00	-0.46157E+00	-0.91286E+00	0.12426E+00	-0.20658E+00
-0.38058E+00	-0.31325E+00				

$e^{2.04t}\cos(0.3217t)$ 

0.12173E+00	0.25353E-01	-0.12178E+00	0.47775E-02	-0.96435E-01	0.11614E-01
0.98775E-01	-0.19432E-01				
-0.18354E+00	-0.45364E-01	0.18354E+00	0.35660E-02	0.14178E+00	0.22520E-02
-0.14654E+00	0.12434E-01				
-0.37205E+00	-0.77943E-01	0.37205E+00	-0.14060E-01	0.29444E+00	-0.34497E-01
-0.30165E+00	0.59528E-01				
-0.13413E+00	-0.80085E-01	0.13413E+00	0.59962E-01	0.13137E+00	0.10549E+00
-0.14283E+00	-0.74302E-01				
-0.36767E+00	-0.11126E+00	0.36767E+00	0.33795E-01	0.27517E+00	0.53415E-01
-0.23775E+00	-0.16812E-01				
0.25222E+00	-0.14350E+00	-0.25222E+00	0.28909E+00	-0.29231E+00	0.53637E+00
0.26525E+00	-0.47731E+00				
0.36767E+00	0.11126E+00	-0.36767E+00	-0.33795E-01	-0.27517E+00	-0.53415E-01
0.23775E+00	0.16812E-01				
0.38493E+00	0.28309E+00	-0.38493E+00	-0.27513E+00	-0.20859E+00	-0.49584E+00
0.24916E+00	0.30290E+00				

 $e^{2.04t}\sin(0.3217t)$ 

-0.19973E+00	0.42226E-01	0.19978E+00	-0.12426E+00	0.19580E+00	-0.23267E+00
-0.13734E+00	0.21412E+00				
0.34268E+00	-0.67706E-01	-0.34268E+00	0.20658E+00	-0.33540E+00	0.38707E+00
0.31992E+00	-0.35701E+00				
0.61242E+00	-0.12321E+00	-0.61242E+00	0.38058E+00	-0.60319E+00	0.71267E+00
0.57422E+00	-0.65588E+00				
0.57952E+00	-0.32831E-01	-0.57952E+00	0.31925E+00	-0.55723E+00	0.50936E+00
0.53443E+00	-0.55564E+00				
0.78935E+00	-0.14568E+00	-0.78936E+00	0.46157E+00	-0.76786E+00	0.86540E+00
0.73382E+00	-0.80002E+00				
0.66425E+00	-0.17871E-01	-0.66426E+00	0.24297E+00	-0.59794E+00	0.46136E+00
0.58592E+00	-0.44554E+00				
-0.78935E+00	0.14568E+00	0.78936E+00	-0.46157E+00	0.76786E+00	-0.86540E+00
-0.73382E+00	0.80002E+00				
-0.17521E+01	0.24296E+00	0.17521E+01	-0.91286E+00	0.16674E+01	-0.17160E+01
-0.16045E+01	0.16010E+01				



